

OBSERVATION OPTICAL SYSTEM USING VOLUME HOLOGRAM

BACKGROUND OF THE INVENTION

1. Field of the Invention

本発明は、画像観察光学系に関し、特に、観察者の頭部又は顔面に保持することができ、また、携帯電話や携帯情報端末に付加することができる画像表示装置に用いる画像観察光学系に関するものである。

2. Description of Related Art

近年、個人が大画面の画像を楽しむことを目的として、画像表示装置、特に、頭部や顔面に装着するタイプの画像表示装置の開発が盛んになされている。また、近年、携帯電話の普及や携帯情報端末の普及に伴い、携帯電話や携帯情報端末の画像や文字データを大画面で見たいというニーズが高まっている。

画像表示装置に用いる従来の画像観察光学系としては、特開平 7-33355 1 号や特開平 8-234137 号に記載のものがある。これらのものは、反射作用を有する面に例えば、アナモルフィック面やトーリック面、さらには自由曲面などの回転非対称な面形状を持つプリズムを使用して、像の歪み、像面彎曲、非点収差を補正している。

しかし、上記のようなプリズムを用いて画像表示装置を高精細化、広画角化すると、プリズム自体の倍率色収差が大きくなり、結像性能が劣化してしまうという問題がある。

SUMMARY OF THE INVENTION

そこで、本発明は、画像表示装置として携帯電話や携帯情報端末に用いることができる程度に小型化することができ、かつ、倍率色収差を抑えて高精細化、広画角化することができる画像観察光学系を提供することを目的とする。

本発明による画像観察光学系は、画像表示素子と、前記画像表示素子により形成された画像を虚像として観察できるように観察者の眼球中心位置に中間像を形

成することなく導く接眼光学系とを有し、前記接眼光学系が、該光学系をコンパクト化するために反射面を用いて光軸を折り曲げて構成されていて、光軸が一つの平面内にあり、光学系が該平面に対称に形成され、入射面と複数の曲面反射面と射出面とを持つ光学素子を有し、少なくとも1つの反射面に体積型ホログラム(HOE)を備えたことを特徴としている。

ここで、好ましくは、光学素子の屈折率が1.7を超えているとよい。素子の屈折率が高くなると、同じパワーを得たときに、収差の発生量が小さくなるからである。

また、本発明においては、正の屈折力を持つプリズムとHOEを有し、かつ、対称面と画像表示面との交線における線分の中心の像位置をF0、線分の両端の像位置のうちHOEが無いときには倍率色収差の大きい方の像位置をFb、小さい方の像位置をFaとしたとき、次の条件式(1)、(2)を同時に満足することが好ましい。

$$-1 < \phi_y(\text{HOE}, F_a) / \phi_y(\text{Total}) < 2 \quad \dots\dots(1)$$

$$-1 < \phi_y(\text{HOE}, F_b) / \phi_y(\text{Total}) < 1 \quad \dots\dots(2)$$

ただし、 $\phi_y(\text{HOE}, F_a)$ はHOEの像位置Faにおけるy方向のパワー、 $\phi_y(\text{HOE}, F_b)$ はHOEの像位置Fbにおけるy方向のパワー、 $\phi_y(\text{Total})$ は全系のy方向のパワーである。

また、本発明は、2面以上の反射面を持つプリズム光学系において、前記HOEがパワーの対称面を1面又は2面有し、該パワーの対称面が前記HOEを備えている基板形状の対称面と一致することが好ましい。

本発明では、接眼光学系として、反射面を用いて光軸を折り曲げた光学系を構成することでコンパクト化を達成している。

この光学系としては、正の屈折力を持つプリズムを用いる。

上述のように、プリズムを用いて高精細化、高画角化すると、倍率色収差が大きくなるという問題がある。本件出願人は、プリズムより発生する倍率色収差を、それとは逆の倍率色収差の作用を回折素子に持たせてキャンセルさせることを着想した。そして、まず、回折素子としてレリーフ型ホログラム(DOE)を用いた、プリズムより発生する倍率色収差の補正について検討した。

回折素子は、透明な基板の上に殆ど厚みを持つことなく設けられており、例えば、図 3 3 に示すように、その面内におけるパワーの分布が部位により異なっている。そして回折素子のパワーの変化に伴い倍率色収差も変化するので、例えば、プリズムの所定の面上にプリズムの倍率色収差とは逆向きに倍率色収差が生じるようなパワー分布の回折素子を設ければ、光学系を大型化することなく、プリズムの倍率色収差を補正することが可能である。また、回折素子をプリズムに一体化すれば、プリズムと回折素子との位置ずれが生じない。

回折素子には、レリーフ型ホログラム(DOE)と体積型ホログラム(HOE)とがある。DOEは、入射角選択性や波長選択性が小さく、特定の入射角、波長の光を回折して必要次数光として結像させるが、それ以外の入射角、波長の光についても、回折効率が低下した状態で回折し、不要次数光として結像させてしまうという性質を有する。一方、HOEは入射角選択性や波長選択性が高く、特定の波長、入射角の光のみを回折して必要次数光として結像させ、それ以外の光については殆どを0次光として透過させ、不要次数光を結像させ難いという特性を有している。

量産性を考えると、DOEは、旋盤加工で作成するのが効率的である。この場合には、DOEは、必然的に回転対称となる。このため、プリズムが図 3 4 に示すような自由曲面など回転非対称な面を有しているような場合に生じる倍率色収差を補正することができない。また、レリーフ型ホログラムを用いた場合には、必要とする回折次数光以外に、不要次数光(0次光、2次光)が発生し、画像の悪化をもたらす観察の妨げになる。

そこで、本件出願人は、DOEの代わりに反射型のHOEを用いた、プリズムより生じる倍率色収差の補正について検討した。HOEは、図 3 5 A に示すように、パワー分布を回転非対称に構成することができるので、自由曲面を持つプリズムに対して、そのプリズムより生ずる倍率色収差を打ち消す作用が働くように構成することが可能である。また、一般にHOEを反射面に用いた場合、不要次数光としては、0次光のみしか発生しない。しかも、例えば、図 1 に示すような観察者の眼とは反対側に位置する面にHOEを配置すれば、わずかに発生する0次光が観察者の眼には届かない方向へ放出されるので、観察の妨げにならない。この

ため、本発明のように回折素子としてH O Eを用いれば、不要次数光による像ブレの発生を防ぐことができ、鮮明な観察画像を得ることができる。

このH O E（図中Hで示す）を、図35A-35Bに示すように、プリズムのある光学面B（例えば反射面）に貼る。ここで、貼るとは、シート状のH O Eを光学系の面に接着剤などで貼る場合はもちろんのこと、光学系の面の表面に機械的なキザミをつけたり、表面の屈折率を縞状に変化させる場合も含む。

例えば、図35Aに示すように、面形状が垂直面L1に対し対称な光学面Bの上に、H O Eを、そのパワーの対称面がL1に一致するよう貼りつけた場合、図35Cに示すように、横からみると、H O Eのパワーはいかなる水平面に関しても非対称となり、図35Dに示すように、上から見ると、H O Eのパワーは垂直面に関して対称となる。

これに対し旋盤で加工したD O Eの場合は、横からみても、上からみても、対称になるので、回転非対称（即ち、上下、左右の少なくともいずれかが対称でない）面を有する光学部材の倍率色収差を補正することができない。

例えば、図34に示すような、自由曲面成分で偏心収差を補正していた偏心プリズムを備えた画像観察光学系において、その面にカラーH O Eを配置する。その際に、図1に示すように、H O Eを設けるプリズム3の基板面（B面）の形状を球面とし、従来は偏心収差を主に補正していた面（B面）の自由曲面成分をカラーH O EのX Y多項式パワー成分、A面の自由曲面成分、C面の自由曲面成分の3箇所に負担させる。これにより、従来どおりのプリズムの偏心補正能力を維持することができ、かつ、H O Eのパワーにより、プリズムの持つ面の形状より発生する倍率色収差を補正することが可能となる。

なお、一つのH O Eにプリズムの倍率色収差補正のためのパワーを大きく負担させると、却って大きな倍率色収差の発生を招くことになる。そこで、図1に示すように、両面がほぼ平面で、かつ平行でない面からなる光学素子5（くさび型プリズム、ウェッジプリズム）を配置して、H O E面で分散された光束をくさび型プリズムの持つ分光作用でキャンセルして、光学系全体で倍率色収差を補正するようにするとよい。なお、一つのH O Eにプリズムの倍率色収差補正のためのパワーを大きく負担させすぎると、くさび型プリズムの持つ分光作用を介しても倍率色収差を十分にキャンセルすることができない。

ここで、HOEのパワーについて図を用いて説明する。

瞳の中心から、各像位置に至る光線を考え（これを主光線と呼ぶ）、この光線位置における各面のパワーを計算する。

例えば、図1に示す画像観察光学系では、光軸が、一つの平面内にあり、プリズム光学系は、この平面に対称になっている。

ここで、本発明の説明においては、対称面に平行（即ち、図1においては紙面に平行）な方向をY方向、各面のローカル座標面上でこれと直交する方向をX方向とする。

なお、パワーは、方位角に依存するので、X方向のパワーと、Y方向のパワーとを別々に計算する。

また、本発明の説明においては、対称面と、画像表示面の交線において、線分の中心の像位置をF0、線分の両端の像位置をFa、Fbとする。HOEが無いと、偏心光学系の影響で、FaとFbの倍率色収差の出方に非対称性が出る。

この時、倍率色収差が大きい方の像位置をFbとし、倍率色収差が小さい方の像位置をFaとする。

HOEを設けた面では、基板の面の形状によるパワーと、HOEによるパワーとを分けて考える。HOE反射面におけるHOEだけが持つパワーを各像位置での主光線の位置で計算して $\phi_y(\text{HOE}, Fb)$ 、 $\phi_y(\text{HOE}, Fa)$ 、を計算する。その場合、次の条件式(1),(2)を同時に満たすことが好ましい。

$$-1 < \phi_y(\text{HOE}, Fa) / \phi_y(\text{Total}) < 2 \quad \dots\dots(1)$$

$$-1 < \phi_y(\text{HOE}, Fb) / \phi_y(\text{Total}) < 1 \quad \dots\dots(2)$$

ただし、 $\phi_y(\text{HOE}, Fa)$ はHOEの像位置Faにおけるy方向のパワー、 $\phi_y(\text{HOE}, Fb)$ はHOEの像位置Fbにおけるy方向のパワー、 $\phi_y(\text{Total})$ は全系のy方向のパワーである。

条件式(1),(2)の下限を超えると、プリズムで発生する倍率色収差を補正するHOEの倍率色収差補正能力が不足し、倍率色収差が補正不足になる。

条件式(1),(2)の上限を超えると、プリズムで発生する倍率色収差を補正するHOEの倍率色収差補正能力が大きくなりすぎ、倍率色収差が補正過剰になる。

また、この場合、次の条件式(3),(4)を満足するとより好ましい。

$$0 < \phi_y(\text{HOE}, F_a) / \phi_y(\text{Total}) < 1 \quad \dots\dots(3)$$

$$-0.5 < \phi_y(\text{HOE}, F_b) / \phi_y(\text{Total}) < 0.5 \quad \dots\dots(4)$$

ただし、 $\phi_y(\text{HOE}, F_a)$ はHOEの像位置 F_a における y 方向のパワー、 $\phi_y(\text{HOE}, F_b)$ はHOEの像位置 F_b における y 方向のパワー、 $\phi_y(\text{Total})$ は全系の y 方向のパワーである。

さらに、この場合、次の条件式(5)、(6)を満足するとより一層好ましい。

$$0.005 < \phi_y(\text{HOE}, F_a) / \phi_y(\text{Total}) < 0.4 \quad \dots\dots(5)$$

$$-0.2 < \phi_y(\text{HOE}, F_b) / \phi_y(\text{Total}) < 0.2 \quad \dots\dots(6)$$

ただし、 $\phi_y(\text{HOE}, F_a)$ はHOEの像位置 F_a における y 方向のパワー、 $\phi_y(\text{HOE}, F_b)$ はHOEの像位置 F_b における y 方向のパワー、 $\phi_y(\text{Total})$ は全系の y 方向のパワーである。

また、光線の有効径内における領域でのHOEの X 方向のパワーがすべて正(局所領域におけるパワーが負にならないこと)であることが望ましい。

プリズム全体が正のパワーを持つため、HOEのパワーとしても全面正のパワーを持つことが倍率色収差を補正する上で望ましいからである。

なお、本発明は、正の屈折力を持つプリズムが反射面を1面以上持ち、HOEが前記プリズムの面上に形成されているとよい。

また、本発明は、正の屈折力を持つプリズムが、反射面を1面以上持ち、HOEが、画像表示素子と観察者の眼との間に、回転非対称な倍率の色収差を補正するように回転非対称なパワーで形成されているとよい。

HOEのパワーが大きくなると、それに応じて倍率色収差発生量が増加する傾向にある。そして、プリズム光学系で発生する倍率色収差が大きい場合、それを補正するためのパワーを1枚のHOEに負担させると、HOEにより発生する倍率色収差が大きくなってしまう。

そこで、本発明は、正の屈折力を持つプリズムを有し、かつ、画像表示素子から射出瞳位置までの間に、少なくとも2枚のHOEを用い、次の条件式(7)を満足することが好ましい。

$$|\phi_y(\text{HOE}, F_0) / \phi_y(\text{Total})| \leq 0.25 \quad \dots\dots(7)$$

ただし、 $\phi_y(\text{HOE}, F_0)$ はHOEの像位置 F_0 における y 方向のパワー、

$\phi_y(\text{Total})$ は全系の y 方向のパワーである。

本発明のように、HOE を 2 枚設ければ、第 2 の HOE を、第 1 の HOE が発生する倍率色収差とは逆向きの倍率色収差が発生するように構成することができ、第 2 の HOE が持つ倍率色収差の作用で、第 1 の HOE が持つ倍率色収差をキャンセルすることができる。

また、この場合、次の条件式(8)を満足するとより好ましい。

$$|\phi_y(\text{HOE}, F_0) / \phi_y(\text{Total})| \leq 0.10 \quad \dots\dots(8)$$

ただし、 $\phi_y(\text{HOE}, F_0)$ は HOE の像位置 F_0 における y 方向のパワー、 $\phi_y(\text{Total})$ は全系の y 方向のパワーである。

さらに、この場合、次の条件式(9)を満足するとより一層好ましい。

$$|\phi_y(\text{HOE}, F_0) / \phi_y(\text{Total})| \leq 0.025 \quad \dots\dots(9)$$

ただし、 $\phi_y(\text{HOE}, F_0)$ は HOE の像位置 F_0 における y 方向のパワー、 $\phi_y(\text{Total})$ は全系の y 方向のパワーである。

また、HOE により発生する倍率色収差を補正するために、正の屈折力を持つプリズムと、HOE に加えて、さらにクサビ型プリズム（ウェッジプリズム）のような、両面がほぼ平面で、かつ平行でない面からなる光学素子を加えて構成してもよい。なお、上述のように、クサビ型プリズムの代わりに、HOE をさらに設けて複数の HOE でプリズムの倍率色収差補正のためのパワーを分担させれば、クサビ型プリズムを設ける場合に比べて、省スペース、軽量化を図ることができる。なお、その場合、複数の HOE のいずれもプリズムの面に貼りつけられ、より省スペース化を図ることができる。

なお、本発明では、前記正の屈折力を有するプリズムが偏心プリズムであり、前記画像表示素子から射出された光束をプリズム内に入射させる入射面と、前記光束をプリズム内で反射させる複数の反射面と、前記光束をプリズム外に射出させる射出面とを有している。

なお、逆光線追跡で物点中心を通り、瞳の中心を通過して像面の中心に到達する光線を軸上主光線としたとき、少なくとも 1 つの反射面が軸上主光線に対して偏心していないと、軸上主光線の入射光線と反射光線が同一の光路を通ることとなり、軸上主光線が観察光学系中で遮断されてしまう。その結果、中心部が遮光

された光束のみで像を形成することになり、中心が暗くなったり、中心では全く像を結ばなくなったりしてしまう。

また、パワーを付けた反射面を軸上主光線に対して偏心させた場合、本発明で用いられるプリズムを構成する面のうち、少なくとも1つの面は回転非対称な面であることが望ましい。その中でも、特に、プリズム部材の少なくとも1つの反射面を回転非対称な面にすることが収差補正上は好ましい。また、本発明で用いられるH O Eのパワー分布は、回転非対称である。なお、H O Eを設けるベース面は、シリンドリカル面、球面、非球面、アナモルフィック面、トーリック面、対称面を1面のみ有する面、面对称自由曲面形状のいずれの形状に形成されていてもよい。

また、本発明で用いる回転非対称な面は、アナモルフィック面、トーリック面、対称面を1面のみ有する面对称自由曲面で構成することができる。なお、好ましくは、対称面を1面のみ有する自由曲面で構成するとよい。

また、本発明では、H O Eを防塵部材で覆うことが望ましい。

H O Eを外気にさらしておくと、H O Eが吸湿して膨張し、回折効率のピーク波長が変化してしまい、回折力に悪影響を及ぼしやすいので、それを防ぐためである。

なお、画像観察光学系全体を防塵部材で覆ってもよい。

防塵部材は、外部を覆う箱体と、該箱体に光が入射又は出射するための透明カバーを備えているのが好ましい。また、その場合、透明カバーは、ガラス又はプラスチックなどを材料として形成された透明部材で構成し、防塵部材の内側において、透明カバーの面を基板にしてH O Eを設けてもよい。

このように構成すれば、ゴミ等が拡大観察されてしまうのを防ぐことができることに加えて、外部からの回折素子への水分の侵入により回折素子が膨張して回折のピーク波長が変化してしまうのを防ぐことができる。

また、その場合、クサビ状の光学部材が透明カバーを兼ねていると好ましい。さらに、その場合、H O Eがクサビ状の光学部材に貼りつけられていると好ましい。また、H O Eが2枚のクサビ状の光学部材の間に挟まれていてもよい。なお、その場合には、H O Eのクサビ状の光学部材に挟まれていない面を接着剤等で封

止するとよい。

また、画像表示素子と、以上のような本発明の何れかの観察光学系を接眼光学系として配置した本体部と、本体部を観察者の顔面に保持するために観察者の側頭部に装着されるように構成された支持部材とを備えて頭部装着型画像表示装置を構成することができる。

その場合、本体部に、観察光学系と、眼鏡のレンズとを一体的に備えて頭部装着型画像表示装置を構成してもよい。

あるいは、支持部材を、眼鏡の側頭フレームに着脱可能となるように構成して頭部装着型画像表示装置を構成してもよい。

また、観察光学系をそれぞれ左右1組ずつ並設して両眼視用の頭部装着型画像表示装置を構成することができる。

This and other objects as well as the features and advantages of the present invention will become apparent from the following detailed description of the preferred embodiments when taken in conjunction with the accompanying drawings.

BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

図1は本発明の第2実施例の画像観察光学系の光軸を含むY-Z断面図である。

図2A-2Lは第2実施例の画像観察光学系の横収差図である。

図3は本発明の第1実施例の画像観察光学系の光軸を含むY-Z断面図である。

図4A-4Lは第1実施例の画像観察光学系の横収差図である。

図5は本発明の第3実施例の画像観察光学系の光軸を含むY-Z断面図である。

図6A-6Lは第3実施例の画像観察光学系の横収差図である。

図7は本発明の第4実施例の画像観察光学系の光軸を含むY-Z断面図である。

図8A-8Lは第4実施例の画像観察光学系の横収差図である。

図9は本発明の各実施例の画像観察光学系に対する第1比較例にかかる従来の画像観察光学系の光軸を含むY-Z断面図である。

図10A-10Lは第1比較例の画像観察光学系の横収差図である。

図11は本発明の各実施例の画像観察光学系に対する第2比較例にかかる従来の

の画像観察光学系の光軸を含むY-Z断面図である。

図12A-12Lは第2比較例の画像観察光学系の倍率色収差図である。

図13は本発明の画像観察光学系に防塵部材を設けた一例を示す断面図である。

図14は本発明の画像観察光学系に防塵部材を設けた一例を示す断面図である。

図15A-15Bは本発明の画像観察光学系にクサビ型プリズムを用いる場合の変形例を示す要部説明図であり、図15Aはクサビ型プリズムの片面にHOEを貼りつけた形態、図15BはHOEを2つのクサビ型プリズムで挟んだ形態を示す。

図16は本発明の画像観察光学系のプリズム部材に適用可能なプリズムの一例を示す図である。

図17は本発明の観察光学系のプリズム部材に適用可能なプリズムの他の例を示す図である。

図18は本発明の観察光学系のプリズム部材に適用可能なプリズムのさらに他の例を示す図である。

図19は本発明の観察光学系のプリズム部材に適用可能なプリズムのさらに他の例を示す図である。

図20は本発明の観察光学系のプリズム部材に適用可能なプリズムのさらに他の例を示す図である。

図21は本発明の観察光学系のプリズム部材に適用可能なプリズムのさらに他の例を示す図である。

図22は本発明の観察光学系のプリズム部材に適用可能なプリズムのさらに他の例を示す図である。

図23は本発明の観察光学系のプリズム部材に適用可能なプリズムのさらに他の例を示す図である。

図24は本発明の観察光学系のプリズム部材に適用可能なプリズムのさらに他の例を示す図である。

図25は本発明の観察光学系のプリズム部材に適用可能なプリズムのさらに他の例を示す図である。

図26は本発明の観察光学系のプリズム部材に適用可能なプリズムのさらに他の例を示す図である。

図 27 は本発明の観察光学系を用いた頭部装着型で両眼装着用の画像表示装置を観察者の頭部に装着した状態を示す図である。

図 28 は図 27 に示す装置の断面図である。

図 29 は本発明の観察光学系を用いた頭部装着型で片眼装着用の画像表示装置を観察者の頭部に装着した状態を示す図である。

図 30 は本発明の画像観察光学系を適用した電子カメラの概念図である。

図 31A は本発明の画像観察光学系を適用した電子内視鏡を有する電子内視鏡システムの概念図である。

図 31B は図 31A の電子内視鏡内部の構成を示す概念図である。

図 32 は本発明による H O E とプリズムを配置するときの望ましい構成を示す図である。

図 33 は回折素子のパワー分布を示す説明図である。

図 34 は自由曲面を示す説明図である。

図 35 A-35B は本発明に用いる H O E をプリズムに貼った状態を示す図であり、図 35A は正面図、図 35B は側面図である。

図 35C-35D は、図 35A に示す状態で配置された H O E のパワーを示す概念図であり、図 35C は横からみたときのパワー、図 35D は上からみたときのパワーを示す。

図 36 は本発明における H O E を定義するための原理図である。

図 37 は本発明における H O E のローカルパワーを説明するための説明図である。

DETAILED DESCRIPTION OF THE PREFERRED EMBODIMENTS

まず、個々の実施例の記述に先立ち、本発明で用いられる各種概念、用語の定義について説明する。

本発明の画像観察光学系においては、軸上主光線を、射出瞳中心を通り画像表示素子の中心に到達する光線で定義する。そして、軸上主光線が射出瞳の中心から最初の光学系の面に交差するまでの直線によって定義される光軸を Z 軸と定義し、また、この Z 軸と直交し、かつ、第 1 群のプリズム部材を構成する各面の偏心面内の軸を Y 軸と定義し、さらに、Z 軸と直交し、かつ、各面のローカル座標面上で Y 軸と直交する軸を X 軸と定義する。また、射出瞳の中心を本発明の観察

光学系における座標系の原点とする。また、本発明においては、上述のように射出瞳から画像表示素子に向かう逆光線追跡で面番号をつけることとし、軸上主光線が射出瞳から画像表示素子に至る方向をZ軸の正方向、画像表示素子に向かうY軸の方向をY軸の正方向、Y軸とZ軸と右手系を構成するX軸の方向をX軸の正方向とそれぞれ定義する。

ここで、本発明で使用する自由曲面は、次式(10)により定義する。なお、その定義式のZ軸が自由曲面の軸となる。

$$Z = c r^2 / [1 + \sqrt{1 - (1 + k) c^2 r^2}] + \sum_{j=2}^{66} C_j X^m Y^n \quad \dots\dots(10)$$

ただし、(10)式の第1項は球面項、第2項は自由曲面項である。また球面項中、Cは頂点の曲率、kはコーニック定数（円錐定数）、 $r = \sqrt{X^2 + Y^2}$ である。

自由曲面項は次式(11)のように展開することができる。

$$\begin{aligned} & \sum_{j=2}^{66} C_j X^m Y^n \\ &= C_2 X + C_3 Y \\ &+ C_4 X^2 + C_5 X Y + C_6 Y^2 \\ &+ C_7 X^3 + C_8 X^2 Y + C_9 X Y^2 + C_{10} Y^3 \\ &+ C_{11} X^4 + C_{12} X^3 Y + C_{13} X^2 Y^2 + C_{14} X Y^3 + C_{15} Y^4 \\ &+ C_{16} X^5 + C_{17} X^4 Y + C_{18} X^3 Y^2 + C_{19} X^2 Y^3 + C_{20} X Y^4 + C_{21} Y^5 \\ &+ C_{22} X^6 + C_{23} X^5 Y + C_{24} X^4 Y^2 + C_{25} X^3 Y^3 + C_{26} X^2 Y^4 \\ &\quad + C_{27} X Y^5 + C_{28} Y^6 \\ &+ C_{29} X^7 + C_{30} X^6 Y + C_{31} X^5 Y^2 + C_{32} X^4 Y^3 + C_{33} X^3 Y^4 \\ &\quad + C_{34} X^2 Y^5 + C_{35} X Y^6 + C_{36} Y^7 \\ &\quad \dots\dots\dots \\ &\quad \dots\dots(11) \end{aligned}$$

ただし、 C_j （jは2以上の整数）は係数である。

上記自由曲面は、一般的には、X-Z面、Y-Z面ともに対称面を持つことはないが、本発明では、Xの奇数次項を全て0にすることによって、Y-Z面と平

行な対称面が1つだけ存在する自由曲面となる。このような自由曲面は、例えば、上記定義式(11)においては、 C_2 、 C_5 、 C_7 、 C_9 、 C_{12} 、 C_{14} 、 C_{16} 、 C_{18} 、 C_{20} 、 C_{23} 、 C_{25} 、 C_{27} 、 C_{29} 、 C_{31} 、 C_{33} 、 C_{35} ・・・の各項の係数を0にすることによって達成することが可能である。

また、Yの奇数次項を全て0にすることによって、X-Z面と平行な対称面が1つだけ存在する自由曲面となる。このような自由曲面は、例えば、上記定義式(11)においては、 C_3 、 C_5 、 C_8 、 C_{10} 、 C_{12} 、 C_{14} 、 C_{17} 、 C_{19} 、 C_{21} 、 C_{23} 、 C_{25} 、 C_{27} 、 C_{30} 、 C_{32} 、 C_{34} 、 C_{36} ・・・の各項の係数を0にすることによって達成することが可能である。

また上記対称面の方向の何れか一方を対称面とし、それに対応する方向の偏心、例えば、Y-Z面と平行な対称面に対して光学系の偏心方向はY軸方向に、X-Z面と平行な対称面に対しては光学系の偏心方向はX軸方向にすることで、偏心により発生する回転非対称な収差を効果的に補正しながら同時に製작성も向上させることが可能となる。

また、上記定義式(10)は、上述のように1つの例として示したものであり、上記定義式(10)以外の他のいかなる定義式に対しても同様の効果が得られることは言うまでもない。

本発明において、プリズムに設けられた反射面の形状を、唯一の対称面を1面のみ有した面对称自由曲面形状にて構成することができる。

また、アナモルフィック面の形状は次の式(12)により定義される。なお、面形状の原点を通り、光学面に垂直な直線がアナモルフィック面の軸となる。

$$Z = (C_x \cdot X^2 + C_y \cdot Y^2) / [1 + \{1 - (1 + K_x) C_x^2 \cdot X^2 - (1 + K_y) C_y^2 \cdot Y^2\}^{1/2}] + \sum R_n \{(1 - P_n) X^2 + (1 + P_n) Y^2\}^{(n+1)} \dots\dots(12)$$

ここで、例としてnを1から4まで(4次項)とすると、上記式(12)は、展開したとき、次式(13)で表わすことができる。

$$Z = (C_x \cdot X^2 + C_y \cdot Y^2) / [1 + \{1 - (1 + K_x) C_x^2 \cdot X^2$$

$$\begin{aligned}
& - (1 + K_y) C_y^2 \cdot Y^2 \}^{1/2}] \\
& + R_1 \{ (1 - P_1) X^2 + (1 + P_1) Y^2 \}^2 \\
& + R_2 \{ (1 - P_2) X^2 + (1 + P_2) Y^2 \}^3 \\
& + R_3 \{ (1 - P_3) X^2 + (1 + P_3) Y^2 \}^4 \\
& + R_4 \{ (1 - P_4) X^2 + (1 + P_4) Y^2 \}^5
\end{aligned}$$

.....(13)

ただし、Zは面形状の原点に対する接平面からのずれ量、C_xはX軸方向曲率、C_yはY軸方向曲率、K_xはX軸方向円錐係数、K_yはY軸方向円錐係数、R_nは球面項回転対称成分、P_nは非球面項回転非対称成分である。なお、X軸方向曲率半径R_x、Y軸方向曲率半径R_yと曲率C_x、C_yとは、

$$R_x = 1 / C_x, \quad R_y = 1 / C_y$$

の関係にある。

また、トーリック面にはXトーリック面とYトーリック面があり、それぞれ次式(14)、(15)により定義される。面形状の原点を通り、光学面に垂直な直線がトーリック面の軸となる。

Xトーリック面は、次式(14)で定義される。

$$\begin{aligned}
F(X) &= C_x \cdot X^2 / [1 + \{1 - (1 + K) C_x^2 \cdot X^2\}^{1/2}] \\
&+ A X^4 + B X^6 + C X^8 + D X^{10} \dots \dots \dots \\
Z &= F(X) + (1/2) C_y \{Y^2 + Z^2 - F(X)^2\} \dots \dots (14)
\end{aligned}$$

Yトーリック面は、次式(15)で定義される。

$$\begin{aligned}
F(Y) &= C_y \cdot Y^2 / [1 + \{1 - (1 + K) C_y^2 \cdot Y^2\}^{1/2}] \\
&+ A Y^4 + B Y^6 + C Y^8 + D Y^{10} \dots \dots \dots \\
Z &= F(Y) + (1/2) C_x \{X^2 + Z^2 - F(Y)^2\} \dots \dots (15)
\end{aligned}$$

ただし、Zは面形状の原点に対する接平面からのずれ量、C_xはX軸方向曲率、C_yはY軸方向曲率、Kは円錐係数、A、B、C、Dは非球面係数である。なお、X軸方向曲率半径R_x、Y軸方向曲率半径R_yと曲率C_x、C_yとは、

$$R_x = 1 / C_x, \quad R_y = 1 / C_y$$

の関係にある。

また、本発明における回折素子(HOE)は以下のように定義する。図36は

本発明におけるH O Eを定義するための原理図である。

まず、H O E面の任意の点Pに入射し、さらに射出する波長 λ の光線追跡は、基準波長 $\lambda_0 = \text{HWL}$ に対して定義されるH O E面上での光路差関数 Φ_0 を用いて、次式(16)で与えられる。

$$n_d Q_d \cdot N = n_i Q_i \cdot N + m (\lambda / \lambda_0) \nabla \Phi_0 \cdot N \quad \dots\dots(16)$$

ただし、NはH O E面の法線ベクトル、 n_i (n_d)は入射側 (射出側)の屈折率、 Q_i (Q_d)は入射 (射出)ベクトル (単位ベクトル)である。また、 $m = \text{HOR}$ は射出光の回折次数である。

H O Eが基準波長 λ_0 の2点光源、すなわち図36に示すような点 $P_1 = (\text{HX}1, \text{HY}1, \text{HZ}1)$ を光源とする物体光、および点 $P_2 = (\text{HX}2, \text{HY}2, \text{HZ}2)$ を光源とする参照光の干渉によって製造される (定義される) とすれば、

$$\begin{aligned} \Phi_0 &= \Phi_0^{2P} \\ &= n_2 \cdot s_2 \cdot r_2 - n_1 \cdot s_1 \cdot r_1 \end{aligned}$$

となる。ただし、 r_1 (r_2)は点 P_1 (点 P_2)からH O E面の所定の座標O (すなわち原点)までの距離 (> 0)、 n_1 (n_2)は製造時 (定義時)にH O Eを置く媒質の、点 P_1 (点 P_2)を配置した側の屈折率であり、 $s_1 = \text{HV}1$ 、および $s_2 = \text{HV}2$ は光の進行方向を考慮する符号である。この符号は光源が発散光源 (実点光源)である場合に、 $\text{REA} = +1$ 、逆に光源が収束する光源 (仮想点光源)の場合に $\text{VIR} = -1$ となる。なお、レンズデータ中におけるH O Eの定義として、製造時 (定義時)にH O Eを置く媒質の屈折率 n_1 (n_2)は、レンズデータ中でH O E面が接している媒質の、点 P_1 (点 P_2)が存在する側の屈折率とする。

一般的な場合、H O Eを製造する際の参照光と物体光は球面波とは限らない。この場合のH O Eの光路差関数 Φ_0 は、多項式で表した付加的な位相項 $\Phi_0^{P \circ 1 y}$ (基準波長 λ_0 における光路差関数)を加えて次式(17)で表わすことができる。

$$\Phi_0 = \Phi_0^{2P} + \Phi_0^{P \circ 1 y} \quad \dots\dots(17)$$

ここで、多項式は、

$$\begin{aligned} \Phi_0^{P \circ 1 y} &= \sum_j H_j \cdot x^m \cdot y^n \\ &= H_1 x + H_2 y + H_3 x^2 + H_4 x y + H_5 y^2 + \end{aligned}$$

$$H_6 x^3 + H_7 x^2 y + H_8 x y^2 + H_9 y^3 + \dots$$

であり、一般には

$$j = \{(m+n)^2 + m + 3n\} / 2$$

で定義することができる。ただし、 H_j は各項の係数である。

さらに光学設計の便宜から、光路差関数 Φ_0 を

$$\Phi_0 = \Phi_0^{\text{Poly}}$$

のように付加項のみで表し、それによってHOEを定義することもできる。例えば、2点光源 P_1 (点 P_2)を一致させると光路差関数 Φ_0 の干渉による成分 Φ_0^2 はゼロとなるので、この場合は実質的に付加項 (多項式) のみで光路差関数を表示したことに相当する。

以上のHOEに関する説明は、すべてHOE原点を基準とするローカル座標に対するものである。

以下に、HOEを定義する構成パラメータの例を示す。

面番号	曲率半径	間隔
物体面	∞	∞
絞り	∞	100
2	150	-75

HOE :

$$HV1(s_1) = REA(+1)$$

$$HV2(s_2) = VIR(-1)$$

$$HOR(m) = 1$$

$$HX1 = 0, \quad HY1 = -3.40 \times 10^9, \quad HZ1 = -3.40 \times 10^9$$

$$HX2 = 0, \quad HY2 = 2.50 \times 10, \quad HZ2 = -7.04 \times 10$$

$$HWL(\lambda_0) = 544$$

$$H1 = -1.39 \times 10^{-21}, \quad H2 = -8.57 \times 10^{-5}, \quad H3 = -1.50 \times 10^{-4}$$

次に、HOE面のローカルパワーについて説明する。図37は本発明におけるHOEのローカルパワーを説明するための説明図である。

HOEは屈折率 $n \rightarrow \infty$ の超高屈折率レンズで表現することができる (Sweett Model)。波長 λ_0 における光路差関数 Φ_0 で定義されたHOEを、こ

の超高屈折率レンズで表現すれば、そのサグ量 (SAG)、 $S(x, y)$ は、図 3 7 に示すような空気 ($n = 1$) との境界面で、

$$S(x, y) \cdot (n(\lambda) - 1) = m(\lambda / \lambda_0) \Phi_0$$

である。

サグ量 (SAG) が $S(x, y)$ で与えられる面のローカル曲率 C_x (面法線と x 軸を含む面で切った曲率) は、一般に、

$$C_x = (\partial^2 S / \partial x^2) / [\{1 + (\partial S / \partial x)^2 + (\partial S / \partial y)^2\}^{1/2} \cdot \{1 + (\partial S / \partial x)^2\}]$$

であり、

一方、そのときのパワー (x 成分の屈折力) は、

$$1 / f_x = - (n(\lambda) - 1) \cdot C_x$$

と書けるから、

$n \rightarrow \infty$ とすることにより HOE の x 成分のパワーとして、

$$\phi_x = 1 / f_x = -m(\lambda / \lambda_0) (\partial^2 \Phi_0 / \partial x^2)$$

を得る。

同様に、HOE の y 成分のパワーとして、

$$\phi_y = 1 / f_y = -m(\lambda / \lambda_0) (\partial^2 \Phi_0 / \partial y^2)$$

を得る。

次に、全系の焦点距離の求め方を説明する。

光学系全体に X 方向に高さ 0.01 mm の光軸に平行な光線を物体側から入射させ、結像面側で、光学系を射出する光線の X 方向の軸上主光線とのなす角を開口数 NA_{ix} とし、 $0.01 / NA_{ix}$ を X 方向の焦点距離 $FX = 1 / \phi_x$ とし、光学系全体に Y 方向に高さ 0.01 mm の光軸に平行な光線を物体側から入射させ、結像面側で、光学系を射出する光線の Y 方向の軸上主光線とのなす角を開口数 NA_{iy} とし、 $0.01 / NA_{iy}$ を Y 方向の焦点距離 $FY = 1 / \phi_y$ とする。

各実施例においては、上述のように、例えば図 1 に示すように、軸上主光線 2 を、射出瞳 1 の中心 (観察者眼球の旋回中心位置) からプリズム 3 などの光学部材、画像表示素子として設けられた LCD 5 の中心に至る光線で定義する。そして、軸上主光線 2 が射出瞳 1 から最初の光学部材であるプリズム 3 の入射面と交

差するまでの直線によって定義される光軸をZ軸とし、このZ軸と直交し、かつ、プリズム3を構成する各面の偏心面内の軸をY軸と定義し、前記光軸と直交し、かつ、前記Y軸と直交する軸をX軸と定義する。また、射出瞳1の中心をこの座標系の原点とする。そして、軸上主光線2が射出瞳1からLCD5に至る方向をZ軸の正方向、LCD5に向かうY軸の方向をY軸の正方向、Y軸とZ軸と右手系を構成するX軸の方向をX軸の正方向とそれぞれ定義する。

本発明の各実施例では、プリズム3はこのY-Z平面内で偏心を行っており、また、プリズム3に設けられる各回転非対称な面の唯一の対称面をY-Z面としている。

偏心面については、対応する座標系の原点から、その面の面頂位置の偏心量(X軸方向、Y軸方向、Z軸方向をそれぞれ、X, Y, Z)と、その面の中心軸(自由曲面については、上記式(10)のZ軸)のX軸, Y軸, Z軸のそれぞれを中心とする傾き角(それぞれ α , β , γ (°))とが与えられている。なお、その場合、 α と β の正はそれぞれの軸の正方向に対して半時計回りを、 γ の正はZ軸の正方向に対して時計回りを意味する。その他、球面の曲率半径、面間隔、媒質の屈折率、アッベ数は慣用法によって与えるものとする。

また、本発明で用いられる自由曲面の面の形状は上記(10)式により定義し、その定義式のZ軸が自由曲面の軸となる。

また、自由曲面の他の定義式として、Zernike多項式がある。この面の形状は次式(18)により定義する。その定義式(18)のZ軸がZernike多項式の軸となる。回転非対称面の定義は、X-Y面に対するZ軸の高さの極座標で定義され、RはX-Y面内のZ軸からの距離、AはZ軸周りの方位角でY軸から測った回転角で表わされる。

$$X = R \times \cos(A)$$

$$Y = R \times \sin(A)$$

$$Z = D_2$$

$$+ D_3 R \cos(A) + D_4 R \sin(A)$$

$$+ D_5 R^2 \cos(2A) + D_6 (R^2 - 1) + D_7 R^2 \sin(2A)$$

$$+ D_8 R^3 \cos(3A) + D_9 (3R^3 - 2R) \cos(A)$$

$$\begin{aligned}
& + D_{10} (3R^3 - 2R) \sin(A) + D_{11} R^3 \sin(3A) \\
& + D_{12} R^4 \cos(4A) + D_{13} (4R^4 - 3R^2) \cos(2A) \\
& + D_{14} (6R^4 - 6R^2 + 1) + D_{15} (4R^4 - 3R^2) \sin(2A) \\
& + D_{16} R^4 \sin(4A) \\
& + D_{17} R^5 \cos(5A) + D_{18} (5R^5 - 4R^3) \cos(3A) \\
& + D_{19} (10R^5 - 12R^3 + 3R) \cos(A) \\
& + D_{20} (10R^5 - 12R^3 + 3R) \sin(A) \\
& + D_{21} (5R^5 - 4R^3) \sin(3A) + D_{22} R^5 \sin(5A) \\
& + D_{23} R^6 \cos(6A) + D_{24} (6R^6 - 5R^4) \cos(4A) \\
& + D_{25} (15R^6 - 20R^4 + 6R^2) \cos(2A) \\
& + D_{26} (20R^6 - 30R^4 + 12R^2 - 1) \\
& + D_{27} (15R^6 - 20R^4 + 6R^2) \sin(2A) \\
& + D_{28} (6R^6 - 5R^4) \sin(4A) + D_{29} R^6 \sin(6A) \dots
\end{aligned}$$

.....(18)

なお、上記においてX方向に対称な面として表した。ただし、 D_m (m は2以上の整数)は係数である。

また、回転非対称面な自由曲面の形状は次式(19)により定義することもできる。その定義式(19)のZ軸が回転非対称面の軸となる。

$$Z = \sum_n \sum_m C_{nm} X^n Y^{n-m} \quad \dots\dots(19)$$

ただし、 \sum_n は Σ の n が $0 \sim k$ 、 \sum_m は Σ の m が $0 \sim n$ を表わす。

また、面对称自由曲面(対称面を1つのみ有する回転非対称面)を、この回転非対称面を表わす式(19)により定義する場合は、その対称面により生ずる対称性をX方向に求める場合は、Xの奇数次項を0に(例えばX奇数次項の係数を0にする)、その対称面により生ずる対称性をY方向に求める場合は、Yの奇数次項を0に(例えば、Y奇数次項の係数を0にする)すればよい。

また、回転対称非球面の形状は次式(20)により定義する。その定義式(20)のZ軸が回転対称非球面の軸となる。

$$\begin{aligned}
Z = & (Y^2/R) / [1 + \{1 - P(Y^2/R^2)\}^{1/2}] \\
& + A_4 Y^4 + A_6 Y^6 + A_8 Y^8 + A_{10} Y^{10} \dots
\end{aligned}$$

……(20)

ただし、YはZに垂直な方向であり、Rは近軸曲率半径、Pは円錐係数、 A_4 、 A_6 、 A_8 、 A_{10} は非球面係数である。

なお、本発明の各実施例では、自由曲面の面形状を上記(10)式を用いて表現しているが、上記(18)式、(19)式を用いても同様の作用効果が得られるのは言うまでもない。

本発明の第1-第4実施例に係る画像観察光学系の光軸を含むY-Z断面図を図3、1、5、7に夫々示し、横収差図を図4A-4L、2A-2L、6A-6L、8A-8Lに夫々示す。各実施例の画像観察光学系は、画像表示素子としてLCD5と、LCD5により形成された画像を虚像として観察できるように観察者の眼球中心位置に中間像を形成することなく導いて射出瞳1を形成する接眼光学系とを有している。接眼光学系は、正の屈折力を有するプリズム3を有している。なお、各実施例の説明において、光学系の面番号は原則として射出瞳1からLCD5に至る順番で追跡（逆光線追跡）し、プリズム3における各面の順番も逆光線追跡に合わせて表すこととする。

また、各実施例の画像観察光学系の横収差を示す図において、夫々図4A、2A、6A、8AはX方向画角がゼロ、Y方向画角がゼロを通る主光線のY方向の横収差、図4B、2B、6B、8BはX方向画角がゼロ、Y方向画角がゼロを通る主光線のX方向の横収差、図4C、2C、6C、8CはX方向画角がゼロ、Y負方向最大画角を通る主光線のY方向の横収差、図4D、2D、6D、8DはX方向画角がゼロ、Y負方向最大画角を通る主光線のX方向の横収差、図4E、2E、6E、8EはX正方向最大画角、Y負方向最大画角を通る主光線のY方向の横収差、図4F、2F、6F、8FはX正方向最大画角、Y負方向最大画角を通る主光線のX方向の横収差、図4G、2G、6G、8GはX正方向最大画角、Y方向画角がゼロを通る主光線のY方向の横収差、図4H、2H、6H、8HはX正方向最大画角、Y方向画角がゼロを通る主光線のX方向の横収差、図4I、2I、6I、8IはX正方向最大画角、Y正方向最大画角を通る主光線のY方向の横収差、図4J、2J、6J、8JはX正方向最大画角、Y正方向最大画角を通る主光線のX方向の横収差、図4K、2K、6K、8KはX方向画角がゼロ、Y正方向最大画角を通る主光線のY方向の横収差、図4L、2L、6L、8LはX方向画角がゼロ、Y正方向最大

画角を通る主光線のX方向の横収差を示している。

その他、各実施例の画像観察光学系においては、H O Eが、R、G、Bの3層を貼り合わせて構成されており、カラー像を観察することができるようになっている。

第1実施例

図3に示すように、第1実施例の画像観察光学系は、接眼光学系が、正の屈折力を有するプリズム3と、反射型のH O E 4とで構成されている。

プリズム3は、第1面 3_1 ～第3面 3_3 を備え、第1面 3_1 及び第3面 3_3 がそれぞれ回転非対称な自由曲面に、第2面 3_2 が球面に形成されている。そして、第1面 3_1 が同一面上に第1の反射面として作用する領域と射出面として作用する領域とを備えた面として、第2面 3_2 が第2の反射面として、第3面 3_3 が入射面としてそれぞれ構成されている。

H O E 4は、プリズム3の第2面 3_2 に貼り付けられている。

そして、本実施例では、L C D 5から射出した光がプリズム3の第3面 3_3 よりプリズム内に入射し、第1面 3_1 で反射した後、第2面 3_2 に貼られたH O E 4で回折されて反射し、第1面 3_1 よりプリズム外に射出し、プリズム外に射出した後途中に結像することなく射出瞳1の位置においた図示しない観察者の眼球の網膜上に結像するように構成されている。

なお、本実施例では、L C Dは、大きさが0.55インチタイプのものを使用している。また、観察画角は、水平画角 30° 、垂直画角 22.8° 、瞳径4.0mmである。また、観察波長範囲は、B： 470nm 、G： 520nm 、R： 630nm に対してそれぞれ $\pm 20\text{nm}$ である。

次に、第1実施例の数値データを示す。数値データ中、“F F S”は自由曲面を示している。なお、F F Sは以下の各実施例においても同じく自由曲面を示している。

数値データ1

半画角	X方向 15.0°	Y方向 11.4°
入射瞳径	$\phi 4$	

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッベ数
物体面	∞	-1000.00			
1	絞り面	0.00	偏心(1)		
2	F F S ①	0.00	偏心(2)	1.5163	64.1
3	-49.22	0.00	偏心(3)		
4	-49.22 反射面	0.00	偏心(3)		H O E 面(1)
5	-49.22	0.00	偏心(3)	1.5163	64.1
6	F F S ①反射面	0.00	偏心(2)	1.5163	64.1
7	F F S ②	0.00	偏心(4)		
像 面	∞		偏心(5)		

F F S ①

$$\begin{aligned}
 C\ 4 &= -4.9543 \times 10^{-3} & C\ 6 &= -5.4926 \times 10^{-3} & C\ 8 &= 5.4405 \times 10^{-5} \\
 C\ 10 &= 1.7452 \times 10^{-4} & C\ 11 &= -6.2412 \times 10^{-6} & C\ 13 &= -1.2786 \times 10^{-5} \\
 C\ 15 &= -1.0849 \times 10^{-5}
 \end{aligned}$$

F F S ②

$$\begin{aligned}
 C\ 4 &= -3.3299 \times 10^{-2} & C\ 6 &= -5.1135 \times 10^{-2} & C\ 8 &= 2.2467 \times 10^{-4} \\
 C\ 11 &= 2.7366 \times 10^{-5} & C\ 13 &= 1.7180 \times 10^{-4} & C\ 15 &= -3.8530 \times 10^{-5}
 \end{aligned}$$

偏心(1)

$$\begin{aligned}
 X &= 0.00 & Y &= 0.00 & Z &= 0.00 \\
 \alpha &= 0.00 & \beta &= 0.00 & \gamma &= 0.00
 \end{aligned}$$

偏心(2)

$$\begin{aligned}
 X &= 0.00 & Y &= 0.00 & Z &= 33.00 \\
 \alpha &= 3.00 & \beta &= 0.00 & \gamma &= 0.00
 \end{aligned}$$

偏心(3)

$$\begin{aligned}
 X &= 0.00 & Y &= 0.00 & Z &= 43.14 \\
 \alpha &= -17.50 & \beta &= 0.00 & \gamma &= 0.00
 \end{aligned}$$

偏心(4)

$$X = 0.00 \quad Y = 19.16 \quad Z = 41.50$$

$$\alpha = 51.81 \quad \beta = 0.00 \quad \gamma = 0.00$$

偏心(5)

$$X = 0.00 \quad Y = 20.81 \quad Z = 42.90$$

$$\alpha = 49.67 \quad \beta = 0.00 \quad \gamma = 0.00$$

H O E 面(1)

$$H V 1 = R E A \quad H V 2 = R E A \quad H O R = 1$$

$$H X 1 = 0.0 \quad H Y 1 = 0.0 \quad H Z 1 = 0.0$$

$$H X 2 = 0.0 \quad H Y 2 = 0.0 \quad H Z 2 = 0.0$$

$$H W L \text{ (第一層)} = 630 \quad H W L \text{ (第二層)} = 520 \quad H W L \text{ (第三層)} = 470$$

$$H 2 = 7.9895 \times 10^{-4} \quad H 3 = -2.7217 \times 10^{-4} \quad H 5 = 1.4189 \times 10^{-4}$$

$$H 7 = -2.7388 \times 10^{-5} \quad H 9 = -2.7535 \times 10^{-5} \quad H 10 = -3.0718 \times 10^{-7}$$

$$H 12 = -6.2875 \times 10^{-7} \quad H 14 = -7.4767 \times 10^{-6} \quad H 16 = 6.8373 \times 10^{-8}$$

$$H 18 = 1.7870 \times 10^{-7} \quad H 20 = 3.1375 \times 10^{-7} \quad H 21 = -8.1294 \times 10^{-10}$$

$$H 23 = 3.8647 \times 10^{-9} \quad H 25 = -8.0227 \times 10^{-9} \quad H 27 = 3.6816 \times 10^{-8}$$

全系のパワー	X 方向	Y 方向
	0.048	0.046

条件式

$$\text{条件式(1), (3), (5)} \quad 0.062818$$

$$\text{条件式(2), (4), (6)} \quad -0.06343$$

$$\text{条件式(7), (8), (9)} \quad -0.00545$$

H O E の X 方向のパワーの符号： 正

第2実施例

図1に示すように、第2実施例の画像観察光学系では、接眼光学系は、正の屈折力を有するプリズム3と、反射型のH O E 4と、クサビ型プリズム6とで構成されている。

プリズム3は、第1面 3_1 ～第3面 3_3 を備え、第1面 3_1 及び第3面 3_3 がそ

れぞれ回転非対称な自由曲面に、第2面 3_2 が球面に形成されている。そして、第1面 3_1 が同一面上に第1の反射面として作用する領域と射出面として作用する領域とを備えた面として、第2面 3_2 が第2の反射面として、第3面 3_3 が入射面としてそれぞれ構成されている。

H O E 4 は、プリズム3の第2面 3_2 に貼り付けられている。

クサビ型プリズム6は、両面が平面で、かつ平行でない面に形成されており、L C D 5 とプリズム3の第3面 3_3 との間に設けられている。

そして、本実施例では、L C D 5 から射出した光が、クサビ型プリズム6を経て屈折して、第3面 3_3 よりプリズム内に入射し、第1面 3_1 で反射した後、第2面 3_2 に貼られたH O E 4 で回折されて反射し、第1面 3_1 よりプリズム外に射出し、プリズム外に射出した後に途中で結像することなく射出瞳1の位置においた図示しない観察者の眼球の網膜上に結像するように構成されている。

なお、本実施例では、L C D は、大きさが0.7インチタイプのものを使用している。また、観察画角は、水平画角 28° 、垂直画角 21.2° 、瞳径4.0mmである。また、観察波長範囲は、B : 470nm、G : 520nm、R : 630nmに対してそれぞれ ± 20 nmである。

次に、第2実施例の数値データを示す。

数値データ2

半画角 X方向 14.0° Y方向 10.6°
入射瞳径 $\phi 4$

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッベ数
物体面	∞	-1000.00			
1	絞り面	0.00	偏心(1)		
2	F F S ①	0.00	偏心(2)	1.5163	64.1
3	-61.24	0.00	偏心(3)		
4	-61.24 反射面	0.00	偏心(3)		H O E 面(1)
5	-61.24	0.00	偏心(3)	1.5163	64.1
6	F F S ①反射面	0.00	偏心(2)	1.5163	64.1

7	F F S ②	0.00	偏心(4)		
8	∞	0.00	偏心(5)	1.5163	64.1
9	∞	0.00	偏心(6)		
像 面	∞	0.00	偏心(7)		

F F S ①

$$\begin{aligned}
 C\ 4 &= -4.1902 \times 10^{-3} & C\ 6 &= -4.2904 \times 10^{-3} & C\ 8 &= -3.3364 \times 10^{-5} \\
 C\ 10 &= -2.2208 \times 10^{-5} & C\ 11 &= -7.8524 \times 10^{-7} & C\ 13 &= 1.9353 \times 10^{-6} \\
 C\ 15 &= -5.4505 \times 10^{-7}
 \end{aligned}$$

F F S ②

$$\begin{aligned}
 C\ 4 &= -6.5417 \times 10^{-3} & C\ 6 &= -2.9521 \times 10^{-2} & C\ 8 &= 4.9017 \times 10^{-4} \\
 C\ 11 &= -1.3186 \times 10^{-5} & C\ 13 &= 8.5736 \times 10^{-5} & C\ 15 &= 4.0290 \times 10^{-5}
 \end{aligned}$$

偏心(1)

$$\begin{aligned}
 X &= 0.00 & Y &= 0.00 & Z &= 0.00 \\
 \alpha &= 0.00 & \beta &= 0.00 & \gamma &= 0.00
 \end{aligned}$$

偏心(2)

$$\begin{aligned}
 X &= 0.00 & Y &= 0.00 & Z &= 34.00 \\
 \alpha &= 2.09 & \beta &= 0.00 & \gamma &= 0.00
 \end{aligned}$$

偏心(3)

$$\begin{aligned}
 X &= 0.00 & Y &= 0.00 & Z &= 44.37 \\
 \alpha &= -18.02 & \beta &= 0.00 & \gamma &= 0.00
 \end{aligned}$$

偏心(4)

$$\begin{aligned}
 X &= 0.00 & Y &= 19.80 & Z &= 43.21 \\
 \alpha &= 45.85 & \beta &= 0.00 & \gamma &= 0.00
 \end{aligned}$$

偏心(5)

$$\begin{aligned}
 X &= 0.00 & Y &= 20.97 & Z &= 44.15 \\
 \alpha &= 40.40 & \beta &= 0.00 & \gamma &= 0.00
 \end{aligned}$$

偏心(6)

$$\begin{aligned}
 X &= 0.00 & Y &= 22.70 & Z &= 45.73
 \end{aligned}$$

$$\alpha = 53.18 \quad \beta = 0.00 \quad \gamma = 0.00$$

偏心(7)

$$X = 0.00 \quad Y = 26.18 \quad Z = 49.24$$

$$\alpha = 44.70 \quad \beta = 0.00 \quad \gamma = 0.00$$

H O E 面(1)

$$H V 1 = R E A \quad H V 2 = R E A \quad H O R = 1$$

$$H X 1 = 0.0 \quad H Y 1 = 0.0 \quad H Z 1 = 0.0$$

$$H X 2 = 0.0 \quad H Y 2 = 0.0 \quad H Z 2 = 0.0$$

$$H W L \text{ (第一層)} = 630 \quad H W L \text{ (第二層)} = 520 \quad H W L \text{ (第三層)} = 470$$

$$H 2 = -1.3521 \times 10^{-4} \quad H 3 = -1.9729 \times 10^{-4} \quad H 5 = -3.6827 \times 10^{-4}$$

$$H 7 = 7.1422 \times 10^{-6} \quad H 9 = -1.6569 \times 10^{-6} \quad H 10 = -2.9477 \times 10^{-7}$$

$$H 12 = 1.1841 \times 10^{-6} \quad H 14 = 7.7644 \times 10^{-7} \quad H 16 = -1.4507 \times 10^{-8}$$

$$H 18 = -3.5455 \times 10^{-8} \quad H 20 = 6.1354 \times 10^{-8} \quad H 21 = -3.3323 \times 10^{-10}$$

$$H 23 = 2.1818 \times 10^{-9} \quad H 25 = -1.1143 \times 10^{-8} \quad H 27 = -1.4457 \times 10^{-9}$$

全系のパワー	X 方向	Y 方向
	0.034	0.036

条件式

$$\text{条件式(1), (3), (5)} \quad 0.02352$$

$$\text{条件式(2), (4), (6)} \quad -0.01062$$

$$\text{条件式(7), (8), (9)} \quad 0.020574$$

H O E の X 方向のパワーの符号： 正

第3実施例

図5に示すように、第3実施例の画像観察光学系では、接眼光学系は、正の屈折力を有するプリズム3と反射型のH O E 4と、透過型のH O E 7とで構成されている。

プリズム3は、第1面3₁～第3面3₃を備え、第1面3₁及び第3面3₃がそ

れぞれ回転非対称な自由曲面に、第2面 3_2 が球面に形成されている。そして、第1面 3_1 が同一面上に第1の反射面として作用する領域と射出面として作用する領域とを備えた面として、第2面 3_2 が第2の反射面として、第3面 3_3 が入射面としてそれぞれ構成されている。

HOE 4は、プリズム3の第2面 3_2 に貼り付けられている。

HOE 7は、射出瞳1とプリズム3の第1面 3_1 との間に設けられている。

そして、本実施例では、LCD 5から射出した光が、第3面 3_3 よりプリズム内に入射し、第1面 3_1 で反射した後、第2面 3_2 に貼られたHOE 4で回折されて反射し、第1面 3_1 よりプリズム外に射出し、HOE 7で回折されて透過した後、途中で結像することなく射出瞳1の位置においた図示しない観察者の眼球の網膜上に結像するように構成されている。

なお、本実施例では、LCDは、大きさが0.55インチタイプのものを使用している。また、観察画角は、水平画角 30° 、垂直画角 22.8° 、瞳径4.0mmである。また、観察波長範囲は、B: 470nm、G: 520nm、R: 630nmに対してそれぞれ ± 20 nmである。

次に、第3実施例の数値データを示す。

数値データ 3

半画角 X方向 15.0° Y方向 11.4°
入射瞳径 $\phi 4$

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッベ数
物体面	∞	-1000.00			
1	絞り面	0.00	偏心(1)		
2	∞	0.00	偏心(2)		HOE面(1)
3	FFS①	0.00	偏心(3)	1.5163	64.1
4	-55.35	0.00	偏心(4)		
5	-55.35 反射面	0.00	偏心(4)		HOE面(2)
6	-55.35	0.00	偏心(4)	1.5163	64.1
7	FFS①反射面	0.00	偏心(3)	1.5163	64.1

8	FFS②	0.00	偏心(5)
像面	∞	0.00	偏心(6)

FFS①

$C4 = -3.5961 \times 10^{-3}$	$C6 = -2.0707 \times 10^{-3}$	$C8 = -2.1572 \times 10^{-5}$
$C10 = -3.3973 \times 10^{-5}$	$C11 = -3.6209 \times 10^{-6}$	$C13 = -8.8721 \times 10^{-6}$
$C15 = -2.3582 \times 10^{-6}$		

FFS②

$C4 = -3.1505 \times 10^{-2}$	$C6 = -2.4449 \times 10^{-2}$	$C8 = 2.2680 \times 10^{-4}$
$C11 = 2.9376 \times 10^{-5}$	$C13 = 1.4803 \times 10^{-5}$	$C15 = -4.2578 \times 10^{-6}$

偏心(1)

$X = 0.00$	$Y = 0.00$	$Z = 0.00$
$\alpha = 0.00$	$\beta = 0.00$	$\gamma = 0.00$

偏心(2)

$X = 0.00$	$Y = 3.18$	$Z = 31.00$
$\alpha = -3.00$	$\beta = 0.00$	$\gamma = 0.00$

偏心(3)

$X = 0.00$	$Y = 0.00$	$Z = 33.18$
$\alpha = 3.00$	$\beta = 0.00$	$\gamma = 0.00$

偏心(4)

$X = 0.00$	$Y = 0.00$	$Z = 43.37$
$\alpha = -18.23$	$\beta = 0.00$	$\gamma = 0.00$

偏心(5)

$X = 0.00$	$Y = 19.15$	$Z = 42.13$
$\alpha = 56.93$	$\beta = 0.00$	$\gamma = 0.00$

偏心(6)

$X = 0.00$	$Y = 22.20$	$Z = 45.24$
$\alpha = 44.33$	$\beta = 0.00$	$\gamma = 0.00$

HOE面(1)

H V 1 = R E A	H V 2 = R E A	H O R = 1
H X 1 = 0.0	H Y 1 = 0.0	H Z 1 = 0.0
H X 2 = 0.0	H Y 2 = 0.0	H Z 2 = 0.0
H W L (第一層) = 630	H W L (第二層) = 520	H W L (第三層) = 470
H 2 = 2.8092×10^{-2}	H 3 = 1.5220×10^{-3}	H 5 = 6.4269×10^{-3}
H 7 = -2.0851×10^{-4}	H 9 = -1.3663×10^{-4}	H 10 = 2.7969×10^{-6}
H 12 = 3.0519×10^{-5}	H 14 = 2.0315×10^{-5}	H 16 = 1.3880×10^{-6}
H 18 = 3.1198×10^{-6}	H 20 = 5.6693×10^{-8}	H 21 = 7.8767×10^{-8}
H 23 = 6.4495×10^{-8}	H 25 = 4.4701×10^{-8}	H 27 = -3.3360×10^{-8}

H O E 面(2)

H V 1 = R E A	H V 2 = R E A	H O R = 1
H X 1 = 0.0	H Y 1 = 0.0	H Z 1 = 0.0
H X 2 = 0.0	H Y 2 = 0.0	H Z 2 = 0.0
H W L (第一層) = 630	H W L (第二層) = 520	H W L (第三層) = 470
H 2 = 1.6204×10^{-2}	H 3 = -2.1630×10^{-3}	H 5 = -4.9648×10^{-3}
H 7 = 8.6587×10^{-5}	H 9 = 8.7901×10^{-5}	H 10 = 2.1618×10^{-6}
H 12 = -1.3028×10^{-6}	H 14 = -3.0085×10^{-6}	H 16 = -8.2023×10^{-8}
H 18 = -1.7863×10^{-7}	H 20 = 3.7760×10^{-8}	H 21 = -1.9525×10^{-8}
H 23 = -1.7408×10^{-8}	H 25 = -1.1208×10^{-8}	H 27 = 2.8284×10^{-9}

全系のパワー	X 方向	Y 方向
	0.047	0.047

条件式

条件式(1), (3), (5)	0.380181
条件式(2), (4), (6)	0.145371
条件式(7)	0.210195

HOEのX方向のパワーの符号： 正

第4実施例

図7に示すように、第4実施例の画像観察光学系では、接眼光学系は、正の屈折力を有するプリズム3と反射型のHOE4と、透過型のHOE8とで構成されている。

プリズム3は、第1面 3_1 ～第3面 3_3 を備え、第1面 3_1 及び第3面 3_3 がそれぞれ回転非対称な自由曲面に、第2面 3_2 が球面に形成されている。そして、第1面 3_1 が同一面上に第1の反射面として作用する領域と射出面として作用する領域を備えた面として、第2面 3_2 が第2の反射面として、第3面 3_3 が入射面としてそれぞれ構成されている。

HOE4は、プリズム3の第2面 3_2 に貼り付けられている。

HOE8は、LCD5とプリズム3の第3面 3_3 との間に設けられている。

そして、LCD5から射出した光が、HOE8で回折されて透過した後、第3面 3_3 よりプリズム内に入射し、第1面 3_1 で反射し、第2面 3_2 に貼られたHOE4で回折されて反射し、第1面 3_1 よりプリズム外に射出した後、途中で結像することなく射出瞳1の位置においた図示しない観察者の眼球の網膜上に結像するように構成されている。

なお、本実施例では、LCDは、大きさが0.55インチタイプのものを使用している。また、観察画角は、水平画角 30° 、垂直画角 22.8° 、瞳径4.0mmである。また、観察波長範囲は、B： 470nm 、G： 520nm 、R： 630nm に対してそれぞれ $\pm 20\text{nm}$ である。

次に、第4実施例の数値データを示す。

数値データ4

半画角 X方向 15.0° Y方向 11.4°

入射瞳径 $\phi 4$

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッペ数
物体面	∞	-1000.00			
1	絞り面	0.00	偏心(1)		

2	F F S ①	0.00	偏心(2)	1.5163	64.1
3	-60.08	0.00	偏心(3)		
4	-60.08 反射面	0.00	偏心(3)		H O E 面(1)
5	-60.08	0.00	偏心(3)	1.5163	64.1
6	F F S ①反射面	0.00	偏心(2)	1.5163	64.1
7	F F S ②	0.00	偏心(4)		
8	0.00	0.00	偏心(5)		H O E 面(2)
像 面	0.00	0.00	偏心(6)		

F F S ①

$$\begin{aligned}
 C 4 &= -1.9551 \times 10^{-3} & C 6 &= -2.4158 \times 10^{-3} & C 8 &= -1.8284 \times 10^{-5} \\
 C 10 &= 1.0142 \times 10^{-4} & C 11 &= -2.5199 \times 10^{-6} & C 13 &= -5.8263 \times 10^{-6} \\
 C 15 &= -5.0628 \times 10^{-6}
 \end{aligned}$$

F F S ②

$$\begin{aligned}
 C 4 &= -3.2163 \times 10^{-2} & C 6 &= -2.5384 \times 10^{-2} & C 8 &= -4.3281 \times 10^{-4} \\
 C 11 &= 4.5846 \times 10^{-5} & C 13 &= 1.0823 \times 10^{-4} & C 15 &= -1.2862 \times 10^{-4}
 \end{aligned}$$

偏心(1)

$$\begin{aligned}
 X &= 0.00 & Y &= 0.00 & Z &= 0.00 \\
 \alpha &= 0.00 & \beta &= 0.00 & \gamma &= 0.00
 \end{aligned}$$

偏心(2)

$$\begin{aligned}
 X &= 0.00 & Y &= 0.00 & Z &= 33.00 \\
 \alpha &= 2.92 & \beta &= 0.00 & \gamma &= 0.00
 \end{aligned}$$

偏心(3)

$$\begin{aligned}
 X &= 0.00 & Y &= 0.00 & Z &= 43.14 \\
 \alpha &= -18.21 & \beta &= 0.00 & \gamma &= 0.00
 \end{aligned}$$

偏心(4)

$$\begin{aligned}
 X &= 0.00 & Y &= 19.39 & Z &= 42.14 \\
 \alpha &= 47.28 & \beta &= 0.00 & \gamma &= 0.00
 \end{aligned}$$

偏心(5)

$$\begin{array}{lll} X = 0.00 & Y = 0.00 & Z = 0.00 \\ \alpha = 27.12 & \beta = 33.90 & \gamma = 50.92 \end{array}$$

偏心(6)

$$\begin{array}{lll} X = 0.00 & Y = 0.00 & Z = 0.00 \\ \alpha = 21.56 & \beta = 44.92 & \gamma = 35.05 \end{array}$$

HOE面(1)

$$\begin{array}{lll} HV1 = REA & HV2 = REA & HOR = 1 \\ HX1 = 0.0 & HY1 = 0.0 & HZ1 = 0.0 \\ HX2 = 0.0 & HY2 = 0.0 & HZ2 = 0.0 \\ HWL \text{ (第一層)} = 630 & HWL \text{ (第二層)} = 520 & HWL \text{ (第三層)} = 470 \\ H2 = 3.4766 \times 10^{-2} & H3 = -7.2076 \times 10^{-4} & H5 = 1.4877 \times 10^{-3} \\ H7 = -9.4600 \times 10^{-5} & H9 = -1.5510 \times 10^{-5} & H10 = 2.1671 \times 10^{-6} \\ H12 = 1.8003 \times 10^{-6} & H14 = -5.3603 \times 10^{-6} & H16 = 2.5751 \times 10^{-7} \\ H18 = 4.0221 \times 10^{-7} & H20 = 4.1907 \times 10^{-7} & H21 = 3.0352 \times 10^{-9} \\ H23 = 2.4963 \times 10^{-10} & H25 = 1.6647 \times 10^{-8} & H27 = 3.1432 \times 10^{-8} \end{array}$$

HOE面(2)

$$\begin{array}{lll} HV1 = REA & HV2 = REA & HOR = 1 \\ HX1 = 0.0 & HY1 = 0.0 & HZ1 = 0.0 \\ HX2 = 0.0 & HY2 = 0.0 & HZ2 = 0.0 \\ HWL \text{ (第一層)} = 630 & HWL \text{ (第二層)} = 520 & HWL \text{ (第三層)} = 470 \\ H2 = -2.3406 \times 10^{-1} & H3 = -1.5776 \times 10^{-3} & H5 = 2.1827 \times 10^{-3} \\ H7 = -2.8696 \times 10^{-3} & H9 = -9.2219 \times 10^{-5} & H10 = -5.7504 \times 10^{-5} \\ H12 = -2.8604 \times 10^{-4} & H14 = -1.5310 \times 10^{-7} & H16 = -5.4533 \times 10^{-6} \\ H18 = -4.8180 \times 10^{-6} & H20 = 5.8645 \times 10^{-7} & H21 = -6.0080 \times 10^{-7} \end{array}$$

全系のパワー	X方向	Y方向
	0.047	0.047

条件式

条件式(1), (3), (5)	0.019461
条件式(2), (4), (6)	-0.18002
条件式(7), (8), (9)	-0.0627

H O E の X 方向のパワーの符号： 正負

次に、上記本発明の好適な実施例との比較のために技術水準の構成例を示す。
なお、例における断面図及び横収差図は、上記各実施例に準じて描かれている。

第1比較例

図9に示すように、第1比較例の画像観察光学系では、接眼光学系は、正の屈折力を有するプリズム3だけで構成されている。

プリズム3は、第1面 3_1 ～第3面 3_3 を備え、いずれの面もそれぞれ回転非対称な自由曲面に形成されている。そして、第1面 3_1 が同一面上に第1の反射面として作用する領域と射出面として作用する領域とを備えた面として、第2面 3_2 が第2の反射面として、第3面 3_3 が入射面としてそれぞれ構成されている。

そして、本比較例では、LCD5から射出した光が、第3面 3_3 よりプリズム内に入射し、第1面 3_1 、第2面 3_2 で反射した後、途中で結像することなく射出瞳1の位置においた図示しない観察者の眼球の網膜上に結像するように構成されている。

なお、本比較例では、LCDは、大きさが0.7インチタイプのものを使用している。また、観察画角は、水平画角 28° 、垂直画角 21.2° 、瞳径4.0mmである。また、観察波長範囲は435nm～656nmである。

第2比較例

図11に示すように、第2比較例の画像観察光学系では、接眼光学系は、正の屈折力を有するプリズム3とDOE9とで構成されている。

プリズム3は、第1面 3_1 ～第3面 3_3 を備え、いずれの面もそれぞれ回転非対称な自由曲面に形成されている。そして、第1面 3_1 が同一面上に第1の反射面として作用する領域と射出面として作用する領域とを備えた面として、第2面 3_2 が第2の反射面として、第3面 3_3 が入射面としてそれぞれ構成されている。

DOE 9は、LCD 5とプリズム3の第3面3₃との間に設けられている。

そして、本比較例では、LCD 5から射出した光が、DOE 9で回折されて透過し、第3面3₃よりプリズム内に入射し、第1面3₁、第2面3₂で反射した後、途中で結像することなく射出瞳1の位置においた図示しない観察者の眼球の網膜上に結像するように構成されている。

なお、本比較例では、LCDは、大きさが0.7インチタイプのものを使用している。また、観察画角は、水平画角28°、瞳径4.0mmである。また、観察波長範囲は435nm～656nmである。

第1比較例のように、自由曲面を有するプリズムのみで接眼光学系を構成した場合は、図10A-10Lに示すように、大きな横収差が残存する。第2比較例のように、DOEを付加した場合は、図12A-12Lに示すように、横収差量は第1実施例に比べて改善してはいるものの依然として多く残存している。

それに対し、本発明の第1～第4実施例の場合には、図4A-4L, 2A-2L, 6A-6L, 8A-8Lに示すように、それぞれ各R(470±20nm)、G(520±20nm)、B(470±20nm)の波長帯域内において良好に横収差が補正されており、しかも、各波長帯域の主波長同士も良好に横収差が補正されていることがわかる。

なお、上記各実施例におけるHOEは、防塵部材で覆われているとよい。また、図5の実施例のような構成の場合、図13に示すように、防塵部材10の一部を構成するガラス、プラスチックなどの透明部材で構成されたカバー部材11の内側にHOE 7を貼りつけてもよい。

また、図1の実施例のような構成に用いられるクサビ型プリズムは、射出瞳1とプリズム3との間に配置してもよく、その場合は図14に示すように、クサビ型プリズム6に防塵カバー11を兼用させてもよい。

さらに、本発明で用いるHOEは、プリズム3に貼りつける以外に、図15Aに示すようにクサビ型プリズムの平らな面に貼り付けてもよい。また、図15Bに示すように、HOEを2つのクサビ型プリズムで挟んで上下を封止材で封着してもよい。

また、本発明の画像観察光学系に用いるプリズムは、上記実施例のタイプのも

のに限定されるものではなく、図 1 6 ～ 図 2 6 に示すようなプリズムを用いてもよい。

図 1 6 の場合は、プリズム P は、第 1 面 3 2 と、第 2 面 3 3 と、第 3 面 3 4 とを備え、第 1 面 3 2 が射出面として、第 2 面 3 3 が反射面として、第 3 面 3 4 が入射面としてそれぞれ構成されている。そして、プリズム P は、LCD 3 6 から射出した光が第 3 面 3 4 で屈折してプリズム内に入射し、第 2 面 3 3 で反射し、第 1 面 3 2 で屈折してプリズム外に射出し、射出瞳 3 1 の位置においた図示しない観察者の眼球の網膜上に結像するように構成されている。

図 1 7 の場合は、プリズム P は、第 1 面 3 2 と、第 2 面 3 3 と、第 3 面 3 4 とを備え、第 1 面 3 2 が第 1 の反射面と射出面とを兼ね備えた面として、第 2 面 3 3 が第 3 の反射面と入射面とを兼ね備えた面として、第 3 面 3 4 が第 2 の反射面としてそれぞれ構成されている。そして、プリズム P は、LCD 3 6 から射出した光が第 2 面 3 3 で屈折してプリズム内に入射し、第 1 面 3 2 で反射し、第 3 面 3 4 で反射した後、第 2 面 3 3 で反射し、第 1 面 3 2 で屈折してプリズム外に射出し、射出瞳 3 1 の位置においた図示しない観察者の眼球の網膜上に結像するように構成されている。

図 1 8 の場合は、プリズム P は、第 1 面 3 2 と、第 2 面 3 3 と、第 3 面 3 4 と、第 4 面 3 5 とを備え、第 1 面 3 2 が射出面として、第 2 面 3 3 が第 3 の反射面として、第 3 面 3 4 が入射面と第 2 の反射面とを兼ね備えた面として、第 4 面 3 5 が第 1 の反射面としてそれぞれ構成されている。そして、プリズム P は、LCD 3 6 から射出した光が第 3 面 3 4 で屈折してプリズム内に入射し、第 4 面 3 5 で反射した後、第 3 面 3 4 で反射し、第 2 面 3 3 で反射し、第 1 面 3 2 で屈折してプリズム外に射出し、射出瞳 3 1 の位置においた図示しない観察者の眼球の網膜上に結像するように構成されている。

図 1 9 の場合は、プリズム P は、第 1 面 3 2 と、第 2 面 3 3 と、第 3 面 3 4 と、第 4 面 3 5 とを備え、第 1 面 3 2 が射出面として、第 2 面 3 3 が同一面上の異なる位置に第 1 の反射面として作用する領域と第 3 の反射面として作用する領域とを備えた面として、第 3 面 3 4 が第 2 の反射面として、第 4 面 3 5 が入射面としてそれぞれ構成されている。そして、プリズム P は、LCD 3 6 から射出した光

が第 4 面 3 5 で屈折してプリズム内に入射し、第 2 面 3 3 に備わる第 1 の反射面で反射し、第 3 面 3 4 で反射した後、第 2 面 3 3 に備わる第 3 の反射面で反射し、第 1 面 3 2 で屈折してプリズム外に射出し、射出瞳 3 1 の位置においた図示しない観察者の眼球の網膜上に結像するように構成されている。

図 2 0 の場合は、プリズム P は、第 1 面 3 2 と、第 2 面 3 3 と、第 3 面 3 4 と、第 4 面 3 5 とを備え、第 1 面 3 2 が射出面として、第 2 面 3 3 が入射面と第 2 の反射面とを兼ね備えた領域と、第 4 の反射面として作用する領域とを同一面上の異なる位置に備えた面として、第 3 面 3 4 が第 3 の反射面として、第 4 面 3 5 が第 1 の反射面としてそれぞれ構成されている。そして、プリズム P は、LCD 3 6 から射出した光が第 2 面 3 3 に備わる入射面で屈折してプリズム内に入射し、第 4 面 3 5 で反射した後、第 2 面 3 3 に備わる第 2 の反射面で反射し、第 3 面 3 4 で反射した後、第 2 面 3 3 に備わる第 4 の反射面で反射し、第 1 面 3 2 で屈折してプリズム外に射出し、射出瞳 3 1 の位置においた図示しない観察者の眼球の網膜上に結像するように構成されている。

図 2 1 の場合は、プリズム P は、第 1 面 3 2 と、第 2 面 3 3 と、第 3 面 3 4 とを備え、第 1 面 3 2 が第 1 の反射面と第 3 の反射面と射出面とを兼ね備えた面として、第 2 面 3 3 が第 4 の反射面として、第 3 面 3 4 が入射面と第 2 の反射面とを兼ね備えた面としてそれぞれ構成されている。そして、プリズム P は、LCD 3 6 から射出した光が第 3 面 3 4 に備わる入射面で屈折してプリズム内に入射し、第 1 面 3 2 に備わる第 1 の反射面で反射した後、第 3 面 3 4 に備わる第 2 の反射面で反射し、第 1 面 3 2 に備わる第 3 の反射面で反射し、第 2 面 3 3 で反射した後、第 1 面 3 2 に備わる射出面で屈折してプリズム外に射出し、射出瞳 3 1 の位置においた図示しない観察者の眼球の網膜上に結像するように構成されている。

図 2 2 の場合は、プリズム P は、第 1 面 3 2 と、第 2 面 3 3 と、第 3 面 3 4 とを備え、第 1 面 3 2 が入射面と第 2 の反射面と第 4 の反射面と射出面とを兼ね備えた面として、第 2 面 3 3 が第 5 の反射面として、第 3 面 3 4 が第 1 の反射面と第 3 の反射面とを兼ね備えた面としてそれぞれ構成されている。そして、プリズム P は、LCD 3 6 から射出した光が第 1 面 3 2 に備わる入射面で屈折してプリズム内に入射し、第 3 面 3 4 に備わる第 1 の反射面で反射した後、第 1 面 3 2 に

備わる第2の反射面で反射し、第3面34に備わる第3の反射面で反射した後、第1面32に備わる第4の反射面で反射し、第2面33で反射した後、第1面32に備わる射出面で屈折してプリズム外に射出し、射出瞳31の位置においた図示しない観察者の眼球の網膜上に結像するように構成されている。

図23の場合は、プリズムPは第1面32と、第2面33と、第3面34、第4面35とを備え、第1面32が第2の反射面と射出面とを兼ね備えた面として、第2面33が第3の反射面として、第3面34が第1の反射面として、第4面35が入射面としてそれぞれ構成されている。そして、プリズムPは、LCD36から射出した光が第4面35で屈折してプリズム内に入射し、第3面34で反射した後、第1面32に備わる第2の反射面で反射し、第2面33で反射した後、第1面に備わる射出面で屈折してプリズム外に射出し、射出瞳31の位置においた図示しない観察者の眼球の網膜上に結像するように構成されている。

図24の場合は、プリズムPは第1プリズムP1と第2プリズムP2とで構成されている。第1プリズムP1は、第1面32と、第2面33と、第3面34と、第4面35とを備え、第1面32が第1プリズムP1における第2の反射面と射出面とを兼ね備えた面として、第2面33が第1プリズムP1における第3の反射面として、第3面34が第1プリズムP1における第1の反射面として、第4面35が第1プリズムP1における入射面としてそれぞれ構成されている。また、第2プリズムP2は、第1面41と、第2面42と、第3面43とを備え、第1面41が第2プリズムP2における第1の反射面と射出面を兼ね備えた面として、第2面42が第2プリズムP2における第2の反射面として、第3面43が第2プリズムP2における入射面としてそれぞれ構成されている。

そして、プリズムPは、LCD36から射出した光が第2プリズムP2の第3面43で屈折してプリズム内に入射し、第3面43に備わる第1の反射面で反射し、第2面42で反射した後、第1面41で屈折してプリズム外に射出し、さらに、第1プリズムP1の第4面35で屈折してプリズム内に入射し、第3面34で反射した後、第1面32に備わる第2の反射面で反射し、第2面33で反射した後、第1面32に備わる射出面で屈折してプリズム外に射出し、射出瞳31の位置においた図示しない観察者の眼球の網膜上に結像するように構成されている。

図 2 5 の場合は、プリズム P は第 1 プリズム P 1 と第 2 プリズム P 2 とで構成されている。第 1 プリズム P 1 は、第 1 面 3 2 と、第 2 面 3 3 と、第 3 面 3 4 と、第 4 面 3 5 とを備え、第 1 面 3 2 が第 1 プリズム P 1 における第 2 の反射面と射出面とを兼ね備えた面として、第 2 面 3 3 が第 1 プリズム P 1 における第 3 の反射面として、第 3 面 3 4 が第 1 プリズム P 1 における第 1 の反射面として、第 4 面 3 5 が第 1 プリズム P 1 における入射面としてそれぞれ構成されている。また、第 2 プリズム P 2 は、第 1 面 4 1 と、第 2 面 4 2 と、第 3 面 4 3 と、第 4 面 4 4 とを備え、第 1 面 4 1 が第 2 プリズム P 2 における射出面として、第 2 面 4 2 が第 2 プリズム P 2 における第 2 の反射面として、第 3 面 4 3 が第 2 プリズム P 2 における第 1 の反射面として、第 4 面 4 4 が第 2 プリズム P 2 における入射面としてそれぞれ構成されている。

そして、プリズム P は、LCD 3 6 から射出した光が第 2 プリズム P 2 の第 4 面 4 4 で屈折してプリズム内に入射し、第 3 面 4 3 で反射し、第 2 面 4 2 で反射し、第 1 面 4 1 で屈折してプリズム外に射出し、さらに、第 1 プリズム P 1 の第 4 面 3 5 で屈折してプリズム内に入射し、第 3 面 3 4 で反射した後、第 1 面 3 2 に備わる第 2 の反射面で反射し、第 2 面 3 3 で反射した後、第 1 面 3 2 に備わる射出面で屈折してプリズム外に射出し、射出瞳 3 1 の位置においた図示しない観察者の眼球の網膜上に結像するように構成されている。

図 2 6 の場合は、プリズム P は第 1 プリズム P 1 と第 2 プリズム P 2 とで構成されている。第 1 プリズム P 1 は、第 1 面 3 2 と、第 2 面 3 3 と、第 3 面 3 4 と、第 4 面 3 5 とを備え、第 1 面 3 2 が第 1 プリズム P 1 における第 2 の反射面と射出面とを兼ね備えた面として、第 2 面 3 3 が第 1 プリズム P 1 における第 3 の反射面として、第 3 面 3 4 が第 1 プリズム P 1 における第 1 の反射面として、第 4 面 3 5 が第 1 プリズム P 1 における入射面としてそれぞれ構成されている。また、第 2 プリズム P 2 は、第 1 面 4 1 と、第 2 面 4 2 と、第 3 面 4 3 と、第 4 面 4 4 とを備え、第 1 面 4 1 が第 2 プリズム P 2 における射出面として、第 2 面 4 2 が第 2 プリズム P 2 における第 2 の反射面として、第 3 面 4 3 が第 2 プリズム P 2 における第 1 の反射面として、第 4 面 4 4 が第 2 プリズム P 2 における入射面としてそれぞれ構成されている。

そして、プリズムPは、LCD36から射出した光が第2プリズムP2の第4面44で屈折してプリズム内に入射し、第3面43で反射し、第2面42で反射し、第1面41で屈折してプリズム外に射出し、さらに、第1プリズムP1の第4面35で屈折してプリズム内に入射し、第3面34で反射した後、第1面32に備わる第2の反射面で反射し、第2面33で反射した後、第1面32に備わる射出面で屈折してプリズム外に射出し、射出瞳31の位置においた図示しない観察者の眼球の網膜上に結像するように構成されている。なお、図25と図26のプリズムとは、第2プリズムP2の第3面と第4面とを結ぶ光路と第1面と第2面とを結ぶ光路とが図25では、交差しないのに対し、図26では交差するようになっている点で構成が異なっている。

次に、以上のような本発明による画像観察光学系を具体化した画像表示装置の実施形態を以下に例示する。

その一例として、図27、図28を参照して、頭部装着型で両眼装着用の画像表示装置説明する。この構成は、本発明による観察光学系を図28に示すように接眼光学系100として用いており、この接眼光学系100と画像表示素子5からなる組を左右一対用意し、それらを眼幅距離だけ離して支持することにより、両眼で観察できる据え付け型又は頭部装着型画像表示装置のようなポータブル型の画像表示装置として構成されている。

すなわち、画像表示装置本体102には、上記のような観察光学系が接眼光学系100として用いられ、その接眼光学系100が左右一対備えられ、それらに対応して像面に液晶表示素子からなる画像表示素子5が配置されている。そして、画像表示装置本体102には、図27に示すように、左右に連続して図示のような側頭フレーム103が設けられ、画像表示装置本体102を観察者の眼前に保持できるようになっている。なお、図28では、眼鏡用レンズを画像表示装置102本体の内部に一体的に組み込んで構成していないが、眼鏡用のレンズを組み込んで画像表示装置102を構成してもよい。

また、側頭フレーム103にはスピーカ104が付設されており、画像観察と共に立体音響を聞くことができるようになっている。このようにスピーカ104を有する表示装置本体102には、映像音声伝達コード105を介してポータブ

ルビデオカセット等の再生装置 106 が接続されており、観察者はこの再生装置 106 を図示のようにベルト箇所等の任意の位置に保持して、映像音響を楽しむことができるようになっている。図 27 の符号 107 は再生装置 106 のスイッチ、ボリューム等の調節部である。なお、画像表示装置本体 102 の内部には映像処理、音声処理回路等の電子部品を内蔵させてある。

なお、コード 105 は先端をジャックにして、既存のビデオデッキ等に取り付け可能としてもよい。さらに、TV 電波受信用チューナーに接続して TV 鑑賞用としてもよいし、コンピュータに接続してコンピュータグラフィックスの映像や、コンピュータからのメッセージ映像等を受信するようにしてもよい。また、邪魔なコードを排斥するために、アンテナを接続して外部からの信号を電波によって受信するようにしてもよい。

さらに、図 29 に示すように、本発明による観察光学系は、接眼光学系を左右何れか一方の眼前（図においては左眼の前）に配置した片眼用の頭部装着型画像表示装置に用いてもよい。この構成では、接眼光学系 100 と画像表示素子 5 からなる組 1 つからなる表示装置本体 102 が前フレーム 108 の対応する眼の前方位位置に取り付けられ、その前フレーム 108 には左右に連続して図示のような側頭フレーム 103 が設けられており、表示装置本体 102 を観察者の片眼前に保持できるようになっている。その他の構成は図 27, 28 の場合と同様であり、説明は省く。

次に、図 30 を参照して、本発明の画像観察光学系を電子カメラ 40 の接眼光学系 59 に組み込んだ構成を説明する。この例の場合は、撮影光路上に配置された撮影用対物光学系 48 により形成された物体像がフィルター 51 を経て CCD 49 の撮像面 50 上に形成される。この CCD 49 で受光された物体像は、処理手段 52 を介し、液晶表示素子 (LCD) 5 上に電子像として表示される。また、この処理手段 52 は、CCD 49 で撮影された物体像を電子情報として記録する記録手段 61 の制御も行なう。LCD 5 に表示された画像は、接眼光学系 59 を介して観察者の眼球 E に導かれる。この接眼光学系 59 は、本発明の上記各実施例と同様の構成（ここでは図 1 と同様の構成）を持つ偏心プリズム光学系とその射出瞳側に配置されたカバーレンズ 11 とからなる。また LCD の背後にはそれ

を照明するバックライト 92 が配置されている。尚、図示した例においては、撮影用対物光学系 48 は、カバー部材 48a、絞り 48b、第 1 プリズム 48c、第 2 プリズム 48d から構成されている。

このように構成されたカメラ 40 は、撮影用対物光学系 48、接眼光学系 59 を少ない光学部材で構成でき、高性能・低コスト化が実現できると共に、光学系全体を同一平面上に並べて配置できるため、この配置平面と垂直方向の厚みの薄型化が実現できる。

次に、図 31A-31B を参照して、本発明による画像観察光学系を、電子内視鏡システムにおいて、電子内視鏡 71 の観察系の接眼光学系 87 に組み込んだ応用例を説明する。

この例の場合、接眼光学系 87 は、本発明の上記各実施例と同様の形態（ここでは図 1 と同様の形態）の光学系を用いている。この電子内視鏡システムは、図 31A に示すように、電子内視鏡 71 と、照明光を供給する光源装置 72 と、その電子内視鏡 71 に対応する信号処理を行なうビデオプロセッサ 73 と、このビデオプロセッサ 73 から出力される映像信号を表示するモニター 74 と、このビデオプロセッサ 73 と接続され映像信号等に記録する VTR デッキ 75、及び、ビデオディスク 76 と、映像信号を映像としてプリントアウトするビデオプリンタ 77 と、例えば、図 27 に示したような頭部装着型画像表示装置（HMD）78 と共に構成されており、電子内視鏡 71 の挿入部 79 の先端部 80 と、その接眼部 81 は、図 31B に示すように構成されている。

光源装置 72 から照明された光束は、ライトガイドファイバー束 88 を通って照明用対物光学系 89 により、観察部位を照明する。そして、この観察部位からの光が、カバー部材 82a を介して、観察用対物光学系 82 によって物体像として形成される。この物体像は、ローパスフィルター、赤外カットフィルター等のフィルター 83 を介して CCD 84 の撮像面上に形成される。さらに、この物体像は、CCD 84 によって映像信号に変換され、その映像信号は、図 31A に示すビデオプロセッサ 73 により、モニター 74 上に直接表示されると共に、VTR デッキ 75、ビデオディスク 76 中に記録され、また、ビデオプリンタ 77 から映像としてプリントアウトされる。また、HMD 78 の画像表示素子 101（図

28)に表示されHMD78の装着者に表示される。同時に、CCD84によって変換された映像信号は画像信号導伝手段93を介して接眼部81の液晶表示素子(LCD)5上に電子像として表示され、その表示像は本発明の画像観察光学系を構成する接眼光学系87を経て観察者の眼球Eに導かれる。尚、図示した例においては、観察用対物光学系82は、カバー部材82a、絞り82b、第1プリズム82c、第2プリズム82dから構成されている。

このように構成された内視鏡は、少ない光学部材で構成することができ、高性能・低コスト化が実現できる。

次に、本発明による画像観察光学系のHOEとして用いる回折素子とプリズムを配置するときの望ましい構成を図32に示す。図中、偏心プリズムPは、本発明の画像観察光学系中に含まれるプリズムである。いま、回折素子の面Hが、図のように四角形を形成するとき、偏心プリズムPに配置された面对称自由曲面の対称面Dが、この回折素子の面Hの四角形を形成する辺の少なくとも1つと平行になるように配置することが、美しい像形成の上で望ましい。

さらに、この回折素子の面Hが正方形や長方形といった4つの内角がそれぞれ略90°にて形成されている場合には、面对称自由曲面の対称面Dは、回折素子の面Hの互いに平行関係にある2辺に対して平行に配置され、この対称面Dが回折素子6の面Hを左右又は上下対称にさせる位置に一致するように構成することが好ましい。このように構成すれば、装置に組み込むときの組み込み精度が出しやすく、量産性に効果的である。

さらに、偏心プリズムPを構成する光学面である第1面、第2面、第3面等の中、複数の面又は全ての面が面对称自由曲面の場合には、複数の面又は全ての面の対称面が同一面Dの上に配置されるように構成することが、設計上も、収差性能上も望ましい。そして、この対称面Dと回折素子のパワーの対称面との関係は、上述と同様の関係にあることが望ましい。

以上、本発明によれば、画像表示装置として携帯電話や携帯情報端末に用いることができる程度に小型化することができ、かつ、倍率色収差を抑えて高精細化、広画角化することができる。

What is Claimed is :

1. 画像表示素子と、前記画像表示素子により形成された画像を虚像として観察できるように観察者の眼球中心位置に中間像を形成することなく導く接眼光学系とを有し、

前記接眼光学系が、該接眼光学系をコンパクト化するために反射面を用いて光軸を折り曲げて構成されていて、光軸が一つの平面内にあり、接眼光学系が該平面に対称に形成され、入射面と複数の曲面反射面と射出面とを持つ光学素子を有し、少なくとも1つの反射面に体積型ホログラム（H O E）を備えたことを特徴とする画像観察光学系。

2. 前記接眼光学系が正の屈折力を持つプリズムを有し、かつ、接眼光学系の対称面と画像表示面との交線における線分の中心の像位置をF 0、線分の両端の像位置のうち倍率色収差の大きい方の像位置をF b、小さい方の像位置をF aとしたとき、次の条件式を同時に満足することを特徴とするクレーム1に記載の画像観察光学系。

$$-1 < \phi_y (\text{H O E}, F a) / \phi_y (\text{T o t a l}) < 2$$

$$-1 < \phi_y (\text{H O E}, F b) / \phi_y (\text{T o t a l}) < 1$$

ただし、 $\phi_y (\text{H O E}, F a)$ はH O Eの像位置F aにおけるy方向のパワー、 $\phi_y (\text{H O E}, F b)$ はH O Eの像位置F bにおけるy方向のパワー、 $\phi_y (\text{T o t a l})$ は全系のy方向のパワーである。

3. 前記接眼光学系が2面以上の反射面を持つプリズム光学系として構成され、前記H O Eがパワーの対称面を1面又は2面有し、該パワーの対称面が前記H O Eを備えている基板形状の対称面と一致することを特徴とするクレーム1に記載の画像観察光学系。

4. 前記接眼光学系が2面以上の反射面を持つプリズム光学系として構成され、前記H O Eがパワーの対称面を1面又は2面有し、該パワーの対称面が前記H O Eを備えている基板形状の対称面と一致することを特徴とするクレーム2に

記載の画像観察光学系。

5. さらに次の条件式を同時に満足することを特徴とするクレーム2に記載の画像観察光学系

$$0 < \phi_y(\text{HOE}, F_a) / \phi_y(\text{Total}) < 1$$
$$-0.5 < \phi_y(\text{HOE}, F_b) / \phi_y(\text{Total}) < 0.5。$$

6. さらに次の条件式を同時に満足することを特徴とするクレーム5に記載の画像観察光学系。

$$0.005 < \phi_y(\text{HOE}, F_a) / \phi_y(\text{Total}) < 0.4$$
$$-0.2 < \phi_y(\text{HOE}, F_b) / \phi_y(\text{Total}) < 0.2。$$

7. 前記接眼光学系がプリズム光学系として構成され、前記HOEのX方向のパワーがすべて正であることを特徴とするクレーム1に記載の画像観察光学系。

8. 前記接眼光学系がプリズム光学系として構成され、前記HOEのX方向のパワーがすべて正であることを特徴とするクレーム2に記載の画像観察光学系。

9. 前記HOEのX方向のパワーがすべて正であることを特徴とするクレーム3に記載の画像観察光学系。

10. 前記HOEのX方向のパワーがすべて正であることを特徴とするクレーム4に記載の画像観察光学系。

11. 前記接眼光学系が反射面を1面以上持ちかつ正の屈折力を持つプリズムを有するとともに、前記HOEが該プリズムの面上に形成されていることを特徴とするクレーム1に記載の画像観察光学系。

12. 前記プリズムが反射面を1面以上持ち、前記HOEが該プリズムの面

上に形成されていることを特徴とするクレーム 2 に記載の画像観察光学系。

13. 前記プリズム光学系が反射面を 1 面以上持ちかつ正の屈折力を持つプリズムを有するとともに、前記 H O E が該プリズムの面上に形成されていることを特徴とするクレーム 3 に記載の画像観察光学系。

14. 前記プリズムが反射面を 1 面以上持ち、前記 H O E が該プリズムの面上に形成されていることを特徴とするクレーム 4 に記載の画像観察光学系。

15. 前記接眼光学系が反射面を 1 面以上持ちかつ正の屈折力を持つプリズムを有するとともに、前記 H O E が前記画像表示素子と観察者の瞳との間において回転非対称な倍率の色収差を補正するように回転非対称なパワーで形成されていることを特徴とするクレーム 1 に記載の画像観察光学系。

16. 前記プリズムが反射面を 1 面以上持ち、前記 H O E が前記画像表示素子と観察者の瞳との間において回転非対称な倍率の色収差を補正するように回転非対称なパワーで形成されていることを特徴とするクレーム 2 に記載の画像観察光学系。

17. 前記プリズム光学系が反射面を 1 面以上持ちかつ正の屈折力を持つプリズムを有するとともに、前記 H O E が前記画像表示素子と観察者の瞳との間において回転非対称な倍率の色収差を補正するように回転非対称なパワーで形成されていることを特徴とするクレーム 3 に記載の画像観察光学系。

18. 前記プリズムが反射面を 1 面以上持ち、前記 H O E が前記画像表示素子と観察者の瞳との間において回転非対称な倍率の色収差を補正するように回転非対称なパワーで形成されていることを特徴とするクレーム 4 に記載の画像観察光学系。

19. 前記接眼光学系が正の屈折力を持つプリズムを有するとともに、前記画像表示素子と射出瞳位置との間に、少なくとも2枚のHOEを有し、かつ、接眼光学系の対称面と画像表示面との交線における線分の中心の像位置をF0としたとき、次の条件式を満足することを特徴とするクレーム1に記載の画像観察光学系

$$|\phi_y(\text{HOE}, F0) / \phi_y(\text{Total})| \leq 0.25$$

ただし、 $\phi_y(\text{HOE}, F0)$ はHOEの像位置F0におけるy方向のパワー、 $\phi_y(\text{Total})$ は全系のy方向のパワーである。

20. 前記接眼光学系が前記画像表示素子と射出瞳位置との間に、少なくとも2枚のHOEを有し、かつ、次の条件式を満足することを特徴とするクレーム2に記載の画像観察光学系

$$|\phi_y(\text{HOE}, F0) / \phi_y(\text{Total})| \leq 0.25$$

ただし、 $\phi_y(\text{HOE}, F0)$ はHOEの像位置F0におけるy方向のパワー、 $\phi_y(\text{Total})$ は全系のy方向のパワーである。

21. 前記プリズム光学系が正の屈折力を持つプリズムを有すると共に、前記画像表示素子と射出瞳位置との間に、少なくとも2枚のHOEを有し、かつ、接眼光学系の対称面と画像表示面との交線における線分の中心の像位置をF0としたとき、次の条件式を満足することを特徴とするクレーム3に記載の画像観察光学系

$$|\phi_y(\text{HOE}, F0) / \phi_y(\text{Total})| \leq 0.25$$

ただし、 $\phi_y(\text{HOE}, F0)$ はHOEの像位置F0におけるy方向のパワー、 $\phi_y(\text{Total})$ は全系のy方向のパワーである。

22. 前記接眼光学系が前記画像表示素子と射出瞳位置との間に、少なくとも2枚のHOEを有し、かつ、次の条件式を満足することを特徴とするクレーム4に記載の画像観察光学系

$$|\phi_y(\text{HOE}, F0) / \phi_y(\text{Total})| \leq 0.25$$

ただし、 ϕ_y (H O E、F 0) はH O Eの像位置F 0におけるy方向のパワー、 ϕ_y (T o t a l) は全系のy方向のパワーである。

23. さらに次の条件式を満足することを特徴とするクレーム19、20、21、又は22に記載の画像観察光学系

$$|\phi_y \text{ (H O E、F 0)} / \phi_y \text{ (T o t a l)}| \leq 0.10$$

24. さらに次の条件式を満足することを特徴とするクレーム23に記載の画像観察光学系

$$|\phi_y \text{ (H O E、F 0)} / \phi_y \text{ (T o t a l)}| \leq 0.025$$

25. 前記接眼光学系が、正の屈折力を持つプリズムと、H O Eと、両面がほぼ平面で、かつ平行でない面からなる光学素子とを有することを特徴とするクレーム1、2、3、又は4に記載の画像観察光学系。

26. 前記両面がほぼ平面で、かつ平行でない面からなる光学素子が、前記画像表示素子と前記正の屈折力を持つプリズムとの間に配置されていることを特徴とするクレーム25に記載の画像観察光学系。

27. 前記両面がほぼ平面で、かつ平行でない面からなる光学素子が、観察者の瞳と前記正の屈折力を持つプリズムとの間に配置されていることを特徴とするクレーム25に記載の画像観察光学系。

28. 前記H O Eが防塵部材で覆われていることを特徴とするクレーム1、2、3又は4に記載の画像観察光学系。

29. 前記防塵部材が、画像観察光学系を収納する箱体と、画像観察光学系からの射出光を透過させるカバーを備えていることを特徴とするクレーム28に記載の画像観察光学系。

30. 前記両面がほぼ平面で、かつ平行でない面からなる前記光学素子が、画像観察光学系からの射出光を透過させるカバーを兼ねていることを特徴とするクレーム25に記載の画像観察光学系。

31. 前記H O Eが、前記両面がほぼ平面で、かつ平行でない面からなる光学素子に貼りつけられていることを特徴とするクレーム25に記載の画像観察光学系。

32. 前記接眼光学系が、正の屈折力を持つプリズムと、H O Eと、両面がほぼ平面で、かつ平行でない面からなる2枚の光学素子とを有し、

前記H O Eが前記両面がほぼ平面で、かつ平行でない面からなる2枚の光学素子の間に挟まれていることを特徴とするクレーム1、2、3又は4に記載の画像観察光学系。

33. 画像観察光学系を備えた本体部と、前記本体部を観察者の顔面に保持するために観察者の側頭部に装着されるように構成された支持部材とを備え、

前記画像観察光学系が、画像表示素子と、前記画像表示素子により形成された画像を虚像として観察できるように観察者の眼球中心位置に中間像を形成することなく導く接眼光学系とを有し、

前記接眼光学系が、該接眼光学系をコンパクト化するために反射面を用いて光軸を折り曲げて構成されていて、光軸が一つの平面内にあり、接眼光学系が該平面に対称に形成され、入射面と複数の曲面反射面と射出面とを持つ光学素子を有し、少なくとも1つの反射面に体積型ホログラム(H O E)を備えており、

前記支持部材が、眼鏡の側頭フレームに着脱可能に構成されていることを特徴とする頭部装着型画像表示装置。

34. 前記接眼光学系が正の屈折力を持つプリズムを有し、かつ、接眼光学系の対称面と画像表示面との交線における線分の中心の像位置をF 0、線分の両

端の像位置のうち倍率色収差の大きい方の像位置をF b、小さい方の像位置をF aとしたとき、次の条件式を同時に満足することを特徴とするクレーム33に記載の頭部装着型画像表示装置

$$-1 < \phi_y(\text{HOE}, F_a) / \phi_y(\text{Total}) < 2$$

$$-1 < \phi_y(\text{HOE}, F_b) / \phi_y(\text{Total}) < 1$$

ただし、 $\phi_y(\text{HOE}, F_a)$ はHOEの像位置F aにおけるy方向のパワー、 $\phi_y(\text{HOE}, F_b)$ はHOEの像位置F bにおけるy方向のパワー、 $\phi_y(\text{Total})$ は全系のy方向のパワーである。

35. 前記接眼光学系が2面以上の反射面を持つプリズム光学系として構成され、前記HOEがパワーの対称面を1面又は2面有し、該パワーの対称面が前記HOEを備えている基板形状の対称面と一致することを特徴とするクレーム33に記載の頭部装着型画像観察装置。

36. 前記接眼光学系が2面以上の反射面を持つプリズム光学系として構成され、前記HOEがパワーの対称面を1面又は2面有し、該パワーの対称面が前記HOEを備えている基板形状の対称面と一致することを特徴とするクレーム34に記載の頭部装着型画像観察装置。

37. 前記本体部は、前記画像観察光学系と、眼鏡用の光学系とを一体的に備えていることを特徴とするクレーム33、34、35又は36に記載の頭部装着型画像表示装置。

38. 前記支持部材が、眼鏡の側頭フレームに着脱可能に構成されていることを特徴とするクレーム33、34、35又は36に記載の頭部装着型画像表示装置。

39. 前記画像観察光学系が、それぞれ左右1組ずつ並設され両眼視用に構成されていることを特徴とするクレーム33、34、35又は36に記載の頭部

装着型画像表示装置。

ABSTRACT OF THE DISCLOSURE

画像表示素子 5 と、画像表示素子 5 により形成された画像を虚像として観察できるように観察者の眼球中心位置に中間像を形成することなく導く接眼光学系とを有し、接眼光学系が、該光学系をコンパクト化するために反射面を用いて光軸を折り曲げて構成されていて、光軸が一つの平面内にあり、光学系が該平面に対称に形成され、入射面 3₃ と複数の曲面反射面 3₁, 3₂ と射出面 3₁ とを持つプリズム 3 を有し、反射面 3₂ に体積型ホログラム (H O E) 4 を備えている。これにより、画像表示装置として携帯電話や携帯情報端末に用いることができる程度に小型化することができ、かつ、倍率色収差を抑えて高精細化、広画角化することができる画像観察光学系を提供することができる。